



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

Análisis técnico de parámetros de soldadura por fusión para elaboración de ferralla

Autor/es

CARMEN MARTÍNEZ ALONSO

Director/es

MARÍA ÁNGELES MARTÍNEZ CALVO y ESTEBAN FRAILE GARCÍA ,

Facultad

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Titulación

Grado en Ingeniería Mecánica

Departamento

INGENIERÍA MECÁNICA

Curso académico

2017-18



Análisis técnico de parámetros de soldadura por fusión para elaboración de ferralla, de CARMEN MARTÍNEZ ALONSO

(publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported.

Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

© El autor, 2018

© Universidad de La Rioja, 2018

publicaciones.unirioja.es

E-mail: publicaciones@unirioja.es



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

CURSO: 2017/2018

CONVOCATORIA: SEPTIEMBRE

TÍTULO:

**Análisis técnico de parámetros de soldadura por fusión
para elaboración de ferralla**

AUTOR: Carmen Martínez Alonso

DIRECTOR/ES: Esteban Fraile García

Maria Ángeles Martínez Calvo

DEPARTAMENTO: Ingeniería Mecánica

RESUMEN

El presente documento muestra el estudio realizado sobre la soldadura por fusión para la elaboración de ferralla.

Actualmente, la ferralla (hierro armado) utilizada en construcción es soldada mediante soldadura MIG (Metal Inert Gas), la cual emite una serie de gases perjudiciales tanto para el medio ambiente como para la salud de los operarios. Una vez estudiados los métodos de soldadura actuales, se decide comprobar la eficacia en la soldadura por resistencia eléctrica, que es una soldadura más limpia, ya que no se utiliza material de aporte.

La metodología seguida para comprobar la eficacia de la nueva alternativa consiste en la elaboración de varias probetas combinando barras de acero corrugado de diferentes diámetros unidas a través de soldadura por puntos realizada mediante soldadura por resistencia eléctrica. El despegue de dichas soldaduras es ensayado posteriormente por dos métodos: despegue por cizalladura y despegue por tracción; el módulo de ambos dará la fuerza necesaria total para el despegue.

Del estudio se concluye que para espesores pequeños (menores a 20 mm) son eficaces las soldaduras con baja potencia (60 Amperios), para espesores de 20 mm la potencia más óptima sería la de 70 Amperios, y que para espesores mayores se requiere elevar la potencia a 80 Amperios. De este modo, el proceso de soldadura mediante resistencia eléctrica resultaría perfectamente válido.

ABSTRACT

The current document shows the research performed into fusion welding in order to create reinforcing bars.

Nowadays, the reinforcing bars (armed iron) used in construction is welded by MIG welding (Metal Inert Gas), which release a variety of gases harmful not only to the environment but also to the workers' health. Once the actual methods of welding have been studied, the efficacy of electrical resistance welding is checked. This last one is a cleaner process since no filler material is used. The methodology used to check the efficiency of the new alternative consists in the elaboration of several test tubes mixing corrugated steel bars with different diameter linked by spot welding performed by using electrical resistance welding. Afterwards, the detachment of those weldings is tested by two methods: by shear stress and by traction; the module of both ways will show the total needed strength for the detachment.

From this research, it is concluded that for small thickness (less than 20 mm) low potency weldings are effective (60 amps). For 20 mm thickness the optimum power would be 70 amps and for bigger thickness the power should be elevated to 80 amps. This way, the process of electrical resistance welding would be perfectly valid.



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ÍNDICE GENERAL

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOR:

CARMEN MARTÍNEZ ALONSO

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

DOCUMENTO Nº2: ANEXOS

ANEXO 1: Tablas de los resultados obtenidos en el laboratorio

ANEXO 2: Manual de la máquina soldadora “MPH Digital Neumática”



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MEMORIA

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOR:

CARMEN MARTÍNEZ ALONSO

Índice

1.	Introducción	3
2.	Definiciones e información general.....	4
2.1.	Ferralla-hierro armado	4
2.2.	Historia del hormigón armado	6
2.3.	Historia de la soldadura.....	6
2.4.	Procesos de soldadura.....	8
2.4.1.	Procesos termoquímicos	8
2.4.2.	Procesos por arco eléctrico	8
2.4.3.	Procesos de resistencia eléctrica.....	9
3.	Estado del arte.....	9
4.	Objetivos.....	13
5.	Metodología	14
5.1.	Introducción	14
5.2.	Estudio de los métodos de soldadura actuales.....	14
5.3.	Combinación de las probetas	15
5.4.	Soldadura de las probetas	16
5.5.	Etiquetado de las probetas.....	20
5.6.	Medida de la unión.....	21
5.7.	Despegue	22
5.7.1.	Despegue por cizalladura	23
5.7.2.	Despegue por tracción.....	24
5.7.3.	Resultante de la fuerza	25
6.	Resultados	26
6.1.	Diámetro _A =8mm, Diámetro _B =8mm.....	27
6.2.	Diámetro _A =8mm, Diámetro _B =10mm	28
6.3.	Diámetro _A =8mm, Diámetro _B =12mm.....	29
6.4.	Diámetro _A =10mm, Diámetro _B =12mm.....	30
6.5.	Diámetro _A =12mm, Diámetro _B =12mm.....	31
6.6.	Diámetro _A =10mm, Diámetro _B =16mm.....	32
6.7.	Diámetro _A =12mm, Diámetro _B =16mm.....	33
6.8.	Diámetro _A =16mm, Diámetro _B =16mm.....	34
7.	Conclusiones	35
8.	Líneas futuras	37
9.	Bibliografía.....	38

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Producción de ferralla	15
Ilustración 2. Probeta	16
Ilustración 3. Equipo de soldadura “MPH Digital Neumática”	17
Ilustración 4. Proceso de soldadura	17
Ilustración 5. Utillaje empleado para soldadura	18
Ilustración 6. Probetas.....	20
Ilustración 7. Etiqueta con nomenclatura	20
Ilustración 8. Medida de la unión	21
Ilustración 9. Servosis ME-420/20.....	22
Ilustración 10. Despegue	22
Ilustración 11. Despegue por cizalladura	23
Ilustración 12. Exceso de fusión	23
Ilustración 13. Despegue por tracción.....	24
Ilustración 14. Resultante de fuerza necesaria para el despegue.....	25
Ilustración 15: Resultados para Diámetro _A =8mm, Diámetro _B =8mm; Presión=5bar	27
Ilustración 16: Resultados para Diámetro _A =8mm, Diámetro _B =8mm; Presión=6bar	27
Ilustración 17: Resultados para Diámetro _A =8mm, Diámetro _B =8mm; Presión=7bar	27
Ilustración 18. Resultados para Diámetro _A =8mm, Diámetro _B =10mm; Presión=5bar ...	28
Ilustración 19. Resultados para Diámetro _A =8mm, Diámetro _B =10mm; Presión=6bar ...	28
Ilustración 20. Resultados para Diámetro _A =8mm, Diámetro _B =10mm; Presión=7bar ...	28
Ilustración 21. Resultados para Diámetro _A =8mm, Diámetro _B =12mm; Presión=5bar ...	29
Ilustración 22. Resultados para Diámetro _A =8mm, Diámetro _B =12mm; Presión=6bar ...	29
Ilustración 23. Resultados para Diámetro _A =8mm, Diámetro _B =12mm; Presión=7bar ...	29
Ilustración 24. Resultados para Diámetro _A =10mm, Diámetro _B =12mm; Presión=5bar .	30
Ilustración 25. Resultados para Diámetro _A =10mm, Diámetro _B =12mm; Presión=6bar .	30
Ilustración 26. Resultados para Diámetro _A =10mm, Diámetro _B =12mm; Presión=7bar .	30
Ilustración 27. Resultados para Diámetro _A =12mm, Diámetro _B =12mm; Presión=5bar .	31
Ilustración 28. Resultados para Diámetro _A =12mm, Diámetro _B =12mm; Presión=6bar .	31
Ilustración 29. Resultados para Diámetro _A =12mm, Diámetro _B =12mm; Presión=7bar .	31
Ilustración 30. Resultados para Diámetro _A =10mm, Diámetro _B =16mm; Presión=5bar .	32
Ilustración 31. Resultados para Diámetro _A =10mm, Diámetro _B =16mm; Presión=6bar .	32
Ilustración 32. Resultados para Diámetro _A =10mm, Diámetro _B =16mm; Presión=7bar .	32
Ilustración 33. Resultados para Diámetro _A =12mm, Diámetro _B =16mm; Presión=5bar .	33
Ilustración 34. Resultados para Diámetro _A =12mm, Diámetro _B =16mm; Presión=6bar .	33
Ilustración 35. Resultados para Diámetro _A =12mm, Diámetro _B =16mm; Presión=7bar .	33
Ilustración 36. Resultados para Diámetro _A =16mm, Diámetro _B =16mm; Presión=5bar .	34
Ilustración 37. Resultados para Diámetro _A =16mm, Diámetro _B =16mm; Presión=6bar .	34
Ilustración 38. Resultados para Diámetro _A =16mm, Diámetro _B =16mm; Presión=7bar .	34

Índice de tablas

Tabla 1. Combinación de diámetros.....	15
Tabla 2. Parámetros de soldadura para el espesor mínimo.....	18
Tabla 3. Parámetros de soldadura elegidos	19

1. Introducción

Vigas Mazo es una empresa especializada en el suministro de materiales prefabricados y ferralla dedicada al subsector de la edificación y al mercado nacional.

Es de sobra conocido el estancamiento del subsector y a la disminución de la demanda se une el exceso de oferta proporcionando unos precios de venta con márgenes muy reducidos. La empresa y los trabajadores han logrado adaptarse a la situación de adversidad que ha supuesto la fuerte recesión del sector. Por parte de Vigas Mazo hay un compromiso con la sostenibilidad. Esto se traduce en la importancia del uso racional de los recursos. Los recursos son limitados y deben ser reciclados a fin de evitar los impactos indeseados que inevitablemente se producen por el desarrollo de cualquier actividad humana. En este caso se combinan dos inquietudes: de una parte, intentar ofrecer productos de construcción que satisfagan las actuales demandas marcadas en el Código Técnico de la Edificación y de otra la conciencia de apostar por la construcción sostenible.

La combinación de estas dos inquietudes empujó a buscar soluciones imaginativas que aporten eficiencia energética de los edificios y mejoren los parámetros de confort. Todo esto con un principio base que es también la repercusión social de las soluciones propuestas. Esta vertiente social no es menospreciable pues su impacto en la economía local puede ser extraordinariamente importante. El objetivo es centrarse en la búsqueda de alternativas que, sin dejar de lado los medios disponibles a nivel local, permitan afrontar estos nuevos retos planteados en la actualidad. Dada la actual coyuntura en el sector de la construcción, la diferenciación puede ser un factor de supervivencia. Las empresas deben aprovechar la actual situación para mejorar y repensar sus procesos productivos. Estos factores actualmente están encabezados por la eco-eficiencia, su repercusión en el consumo energético y por lo tanto en la economía es inmediata, pero no debemos dejar de lado factores adicionales como el confort acústico, la sostenibilidad y seguridad y salud en el trabajo.

Los trabajos de soldadura desarrollados en las tareas de elaboración de ferralla emiten humos de soldadura. Estos humos son una mezcla de partículas y gases generados por el fuerte calentamiento de las sustancias presentes en el entorno del punto de fusión durante el proceso de soldadura. Estas sustancias provienen fundamentalmente de: el material base de las piezas a soldar, los posibles recubrimientos superficiales de estas piezas, los materiales de aporte, el gas utilizado en el proceso de soldadura y el aire alrededor de la zona de soldadura y su posible contaminación.

En Vigas Mazo se trabaja con acero estructural B-500-SD que no presenta recubrimientos y se emplea como material de aporte cobre-acero ER70S-6 (E: electrodo, R: varilla de aporte, 70: resistencia mínima a la tracción expresada en miles de libras/pulgada cuadrada (psi), S: sólido, 6: composición química del electrodo que corresponde con las cantidades de carbono, manganeso y silicio). El proceso de soldeo

se debe desarrollar en atmosfera inerte que se consigue mediante la utilización de un gas de soldadura que consiste en una mezcla de Ar (82%) y CO₂ (18%). Se reducen de esta forma a tres las fuentes de emisión:

- Hierro y Manganeseo (Aceros al Carbono).
- Monóxido y Dióxido de carbono (CO y CO₂). Cuando se aporta anhídrido carbónico. Óxidos de los metales del hilo o de la varilla de aporte (normalmente los mismos que los de las piezas). Óxido de cobre cuando el hilo va recubierto de este metal.
- Contaminantes procedentes del aire y de sus posibles impurezas: oxidación del Nitrógeno del aire y Ozono.

El proyecto en cuestión consiste en la búsqueda de una alternativa técnicamente viable, que permita sustituir las actuales máquinas de soldar en el proceso de ensamblado de ferralla por otras más productivas, menos contaminantes y de menor coste productivo.

2. Definiciones e información general

2.1. Ferralla-hierro armado

El hierro armado, conocido comúnmente como ferralla, es la combinación de barras corrugadas de varios diámetros, longitudes y formas. Estas barras están unidas entre sí por alambres lisos, trefilados y recocidos o soldadura mig-mag de hilo continuo. Estos productos deben cumplir con ciertas normas que exigen cierta resistencia, ductilidad, dimensiones y límites físicos o químicos de la materia prima utilizada en su fabricación.

Este tipo de estructuras metálicas que conforman la ferralla se utilizan para reforzar las distintas fases de las estructuras de hormigón que nos rodean: cimentaciones, pilares, forjados, muros, etc. El hormigón armado por hierro está en edificios de todo tipo: carreteras, puentes, presas, túneles, obras industriales, etc.

El principal componente del hierro armado o ferralla es el acero corrugado. Se trata de acero laminado en caliente que presenta resaltes o corrugas para mejorar la adherencia con el hormigón. Está dotado de una gran ductilidad para que, a la hora de cortar y doblar no sufra daños, lo que aporta seguridad y ahorro energético. También se emplean otros materiales secundarios para la constitución del elemento final, como alambres recocidos en el caso del hierro atado o hilo de soldar recubierto de cobre en el hierro electro soldado.

Las distintas partes que lo forman son (1):

- Armadura Principal o Longitudinal: conjunto de barras que absorbe los esfuerzos externos inducidos en los elementos de hormigón armado.
- Armadura Secundaria o Transversal: conjunto de barras que mantiene la posición de la armadura principal en el hormigón.

- Barras de Repartición: conjunto de barras que mantienen el distanciamiento de las barras principales en las losas de hormigón armado.
- Barras de Retracción: conjunto de barras instaladas en las losas donde la armadura, por flexión tiene un sólo sentido. Reducen y controlan las grietas que se producen debido a la retracción durante el proceso de fraguado del hormigón, además de resistir los esfuerzos generados por los cambios de temperatura.
- Amarra: barra o alambre individual de mayor o menor longitud, que abraza y confina la armadura longitudinal, doblada en cualquier forma poligonal.
- Cerco: amarra cerrada o doblada continua. Una amarra cerrada puede estar constituida por varios elementos de refuerzo con ganchos sísmicos en cada extremo. Una amarra doblada continua debe tener un gancho sísmico en cada extremo.
- Estribo: armadura abierta o cerrada para resistir esfuerzos de corte y torsión en un elemento estructural; por lo general, barras, alambres o malla electro soldada de alambre, ya sea sin dobleces o doblados en cualquier forma poligonal o circular, y situados perpendicularmente o en ángulo, con respecto a la armadura longitudinal.
- Zuncho: amarra continua enrollada en forma de hélice cilíndrica empleada en elementos sometidos a esfuerzos de compresión que sirven para confinar la armadura longitudinal de una columna y la porción de las barras dobladas de la viga como anclaje en la columna. El espaciamiento libre entre espirales debe ser uniforme y alineado.
- Gancho Sísmico: gancho de un estribo, cerco o traba, con un dobléz de 135° y con una extensión de 6 veces el diámetro (pero no menor a 75 mm) que enlaza la armadura longitudinal y se proyecta hacia el interior del estribo o cerco.
- Traba: barra continua con un gancho sísmico en un extremo, y un gancho no menor de 90° , con una extensión mínima de 6 veces el diámetro en el otro extremo. Los ganchos deben enlazar barras longitudinales periféricas.

2.2. Historia del hormigón armado

La invención del hormigón y hierro armado se atribuye al constructor William Wilkinson, quien solicitó en 1854 la patente de un sistema que incluía armaduras de hierro para mejorar la construcción de viviendas, almacenes y otros edificios resistentes al fuego.

En España, el hormigón armado entra de la mano del ingeniero Francesc Macià con la patente del francés Joseph Monier. Pero la expansión de la nueva técnica se producirá por el empuje comercial de François Hennebique por medio de su concesionario en San Sebastián, Miguel Salaverría y del ingeniero José Eugenio Ribera, entonces destinado en Asturias, que en 1898 construirá los forjados de la cárcel de Oviedo, el tablero del puente de Ciaño y el depósito de aguas de Llanes. El primer edificio de entidad construido con hormigón armado es la fábrica de harinas “La Ceres” en Bilbao, de 1899-1900 (aún hoy en pie y rehabilitada como viviendas) y el primer puente importante, con arcos de 35 metros de luz, el levantado sobre el Nervión-Ibaizabal en La Peña, para el paso del tranvía de Arratia entre Bilbao y Arrigorriaga (desaparecido en las riadas del año 1983).

2.3. Historia de la soldadura

La historia de la soldadura se remonta a varios milenios atrás, con los primeros ejemplos de soldadura desde la edad de bronce y la edad de hierro en Europa y en Oriente Medio. A continuación, presentamos un breve resumen basado en la documentación ofrecida por la empresa SOMISA (2).

La soldadura fue usada en la construcción del Pilar de hierro de Delhi, en la India, en el año 310 y pesando 5.4 toneladas métricas. Con la Edad Media se vieron avances en la soldadura de fragua, los herreros de aquella época golpeaban los materiales repetidamente de modo que se calentaba el metal hasta que se producía la unión. En 1540 se publicaron descripciones de la operación de forjado. Los artesanos del Renacimiento eran habilidosos en el proceso, y dicha industria continuó desarrollándose durante los siglos siguientes.

Sin embargo, la soldadura fue transformada durante el siglo XIX. En 1800, Sir Humphry Davy descubrió el arco eléctrico, y los avances en la soldadura por arco continuaron con las invenciones de los electrodos de metal por el ruso Nikolai Slavyanov y el norteamericano, C. L. Coffin a finales de los años 1800. Alrededor de 1900, se lanzó un electrodo de metal recubierto en Gran Bretaña, que dio un arco más estable, y en 1919, la soldadura de corriente alterna fue inventada por C. J. Holslag, pero no llegó a ser popular por otra década.

La soldadura por resistencia también fue desarrollada durante las décadas finales del siglo XIX, con las primeras patentes del sector en manos de Elihu Thomson en 1885, quien produjo otros avances durante los siguientes 15 años. La soldadura de termita fue inventada en 1893, y alrededor de ese tiempo, se estableció otro proceso, la soldadura a gas. El acetileno fue descubierto en 1836 por Edmund Davy, pero su uso en la soldadura no fue práctico hasta cerca de 1900, cuando fue desarrollado un soplete

conveniente. Al principio, la soldadura de gas fue uno de los más populares métodos de soldadura debido a su portabilidad y costo relativamente bajo. Sin embargo, a medida que progresaba el siglo 20, bajó en las preferencias para las aplicaciones industriales. Fue sustituida, en gran medida, por la soldadura de arco, en la medida que continuaron siendo desarrolladas las cubiertas de metal para el electrodo (conocidas como fundente), que estabilizaban el arco y blindaban el material base de las impurezas.

La Primera Guerra Mundial fue clave para el desarrollo de los procesos de soldadura, ya que los militares buscaban determinar qué proceso de soldadura era el mejor. Fue sobre todo utilizada la soldadura por arco para la construcción y reparación de vehículos militares.

Durante los años 1920, se realizaron grandes avances en la tecnología de la soldadura, en 1920 se introdujo la soldadura automática, en la que el alambre del electrodo era alimentado continuamente. El gas de protección se convirtió en un tema importante, mientras que los científicos procuraban proteger las soldaduras contra los efectos del oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera. La porosidad y la fragilidad eran los problemas básicos derivados de este intercambio, y las soluciones que desarrollaron incluyeron el uso del hidrógeno, del argón, y del helio como gases protectores de la soldadura. Durante la siguiente década, se consiguió la soldadura de metales reactivos como el aluminio y el magnesio.

A mediados del siglo XX, fueron inventados muchos métodos nuevos de soldadura, como la soldadura de perno, la soldadura de arco sumergido (muy utilizada en la actualidad), la soldadura de arco con electrodo de tungsteno (posteriormente perfeccionada), la soldadura por arco metálico con gas (permitiendo la soldadura rápida de materiales no ferrosos, pero requiriendo costosos gases de blindaje).

A finales del siglo XX se desarrolló la soldadura de arco metálico blindado, que se convirtió en el proceso de soldadura de arco metálico más popular. También debutó el proceso de soldadura por arco con núcleo fundente, en el que el electrodo de alambre auto blindado podía ser usado con un equipo automático, resultando en velocidades de soldadura altamente incrementadas, y posteriormente fue inventada la soldadura de arco de plasma además de la electroescoria y la soldadura por electrogas.

Los desarrollos más recientes en soldadura incluyen la soldadura con rayo de electrones, haciendo posible la soldadura profunda y estrecha por medio de la fuente de calor concentrada; además de la soldadura por rayo láser, muy útil en la soldadura automatizada de alta velocidad, aunque estos últimos métodos son procesos que suponen una elevada inversión debido al alto costo del equipo a emplear, es por ello que sus aplicaciones son limitadas.

2.4. Procesos de soldadura

Dentro de los procesos de soldadura pueden diferenciarse tres grandes grupos: termoquímicos, de arco eléctrico y de resistencia eléctrica(3).

2.4.1. Procesos termoquímicos

Soldadura oxiacetilénica donde la energía para la fusión proviene de la combustión de la mezcla de Oxígeno y Acetileno (C_2H_2)

- Procedimiento MANUAL
- Metal de APORTACIÓN POR SEPARADO
- Poco control del calor aportado: soldaduras de BAJA RESPONSABILIDAD
- EQUIPO
 - Botellas de acetileno y de oxígeno
 - Mangueras
 - Soplete
 - Material de aportación

2.4.2. Procesos por arco eléctrico

En estos procesos la energía se obtiene a partir de un arco transferido entre electrodo y pieza, conocido como cebado.

Concepto de cebado del arco: establecido mediante una alta intensidad de corriente entre el electrodo y la pieza, controlando la separación entre ambos. Mediante la ionización de tal separación se establece un canal de plasma conductor. El arco eléctrico se mantiene mediante un buen control de la distancia entre electrodo y pieza.

El electrodo puede ser permanente o consumible, por otro lado, el gas de protección puede ser inerte (helio, argón) o activo (CO_2).

La corriente utilizada puede ser de dos tipos:

- Corriente continua: polaridad directa (negativa en el electrodo), o polaridad inversa (positivo en el electrodo).
- Corriente alterna.

Los principales procesos de arco eléctrico son:

- Procesos de arco protegido por gas:
 - Soldadura TIG: Tungsten Inert Gas. Electrodo de tungsteno no consumible, gas inerte de protección (argón o helio), soldadura de alta calidad manual o robotizada.
 - Soldadura MIG/MAG: Metal Inert/Active Gas. El electrodo se emplea como material de aportación y se suministra de forma automática, gas de protección argón en soldadura MIG, CO_2 o mezcla argón- CO_2 en soldadura MAG, rango de aplicación muy amplio y generalista.
- Procesos de arco protegido por polvo decapante:
 - Soldadura con electrodo recubierto (SMAW): Shielded Metal Arc Welding. El electrodo se emplea como material de aporte, se suministra

manualmente en forma de varilla revestida del material que protege a la soldadura; la escoria y los gases procedentes de la fusión del revestimiento protegen a la soldadura de la atmósfera, bajas tasas de deposición, no está pensado para automatización, proceso muy versátil, amplia variedad de materiales soldables.

- Soldadura por arco sumergido (SAW). Submerged Arc Welding. El electrodo se emplea como material de aporte. Se suministra automáticamente en forma de hilo no revestido desde un carrete de aportación continua. Por delante del baño fundido se aporta material decapante en forma de polvo. La escoria y los gases procedentes de su fusión protegen a la soldadura de la atmósfera. Además, la escoria protege al baño del enfriamiento (menor velocidad de enfriamiento) obteniéndose cordones de gran calidad metalúrgica.

2.4.3. Procesos de resistencia eléctrica

Conjunto de procesos en los que la energía para la soldadura se obtiene por efecto Joule, haciendo pasar una corriente eléctrica entre dos elementos metálicos en contacto.

- Los electrodos focalizan la corriente y generan la presión necesaria produciendo una fusión parcial (puntos, pernos) o continua y una solidificación muy rápida de la soldadura.
- Procesos de muy alta productividad.
- No requieren material de aportación ni sustancias protectoras, pero las superficies a soldar deben estar limpias.
- La calidad metalúrgica de las uniones es relativamente baja.

3. Estado del arte

Actualmente, en construcción, el método comúnmente utilizado para la elaboración de ferralla es la soldadura MIG (Metal Inert Gas). Este procedimiento utiliza un electrodo de metal que sirve como material de aportación para la soldadura y se consume durante el proceso. El principal problema de este método en la actualidad, es que presenta grandes emisiones. Los principales contaminantes que emite son óxidos de metales del hilo o de la varilla de aporte y óxido de cobre cuando el hilo va cubierto de este metal; son frecuentes también las emisiones de monóxido y de dióxido de carbono en los casos en los que se aporta anhídrido carbónico. Esto es principalmente perjudicial para la salud del soldador por lo que se debe dotar al personal de los equipos de protección individual (EPIs) correspondientes. Es, por tanto, que se desea buscar un modo de trabajo que, realizando soldaduras resistentes y útiles, no sea tan perjudicial tanto para el medio ambiente como para la salud de los operarios.

A lo largo de los últimos años, se han realizado varios estudios para mejorar tanto métodos de soldadura como las características del material a soldar. Dichos estudios pueden servir de ayuda a la hora de establecer la metodología de trabajo para la investigación presente.

- Muchos ensambles utilizan soldadura por puntos MIG entre varillas transversales; sin embargo, un problema frecuente al apilar, levantar, transportar o fijar es la falla esporádica de las juntas de soldadura. Aparentemente, no hay una especificación estándar disponible para soldar jaulas ya que la resistencia de estas soldaduras no es parte del diseño de ingeniería estructural. Se realizó un estudio para mapear las características de la junta de soldadura con respecto a la resistencia de las actuales prácticas de soldadura para soldadura de jaula, con varias combinaciones de diámetros de barras de refuerzo soldadas entre sí. En tres combinaciones de diámetros estudiados, se observó que la longitud de la soldadura tiene la mayor influencia sobre la resistencia de las juntas, y la profundidad de la penetración de la soldadura, más allá de un valor umbral no ofrece ningún beneficio significativo (4).
- En mayo de 1998, en la Universidad de Ljubljana (Slovenia) se desarrolló un robot para el montaje de jaulas de barras de refuerzo para vigas y columnas, el cual dispone de herramientas para soldar los estribos a las barras longitudinales. El problema que supone este método es que, debido a la naturaleza del proceso de ensamblaje, el robot debe evitar con éxito varios obstáculos y, por tanto, los robots producidos en masa no pueden ser utilizados para el montaje de jaulas de varillas corrugadas, de modo que deberían diseñarse configuraciones de robots especiales para esos casos (5).
- En el año 2001, tras comprobar que las barras convencionales de acero utilizadas en la construcción de estructuras de hormigón armado de refuerzo cuentan con un alto contenido en carbono y se someten a una operación de torsión en frío para alcanzar el nivel de resistencia y la resistencia a la unión deseados, lo que hace que cuenten con una baja ductilidad y malas propiedades de capacidad de doblado, además estas barras no son adecuadas para construcciones en lugares húmedos donde las tasas de corrosión son muy altas. Para combatir estos problemas, se desarrollaron nuevas barras con un bajo contenido de carbono, de modo que exhiben excelentes propiedades de resistencia, ductilidad y corrosión. De modo que, hoy en día, estas nuevas barras de refuerzo están reemplazando a las tradicionales en lugares propensos a la corrosión (6).
- En el año 2005, en la universidad de Bogazici (Estambul) se comprobó que adaptar columnas de hormigón armado con láminas de polímero reforzado con fibra de carbono resulta efectivo si son columnas con barras continuas, sin embargo, para columnas empalmadas por solapamiento, la mejora es muy ligera. Sin embargo, si la columna se reacondiciona previamente mediante la soldadura de barras de refuerzo con varillas longitudinales cerca de la región de empalme y luego se envuelve con láminas de polímero reforzado con fibra de carbono, su resistencia, ductilidad y capacidad de disipación de energía mejoran significativamente (7).

- El instituto de investigación de hierro y acero de China evaluó la resistencia a la corrosión del acero corrugado de 400 MPa mediante una serie de experimentos que incluyeron ciclos de pruebas de aceleración de la corrosión, además de investigarse las propiedades de tracción y flexión y la adaptabilidad de la conexión de la barra de refuerzo desarrollada. De este modo, verificaron que las propiedades integrales de la barra de refuerzo resistente a la corrosión son excelentes (8).
- A finales del año 2012, la Universidad de Messina con la colaboración de la Universidad de Palermo (Italia) probaron juntas soldadas a tope en barras con geometrías complejas. Con ayuda de un escáner digital de alta precisión determinan las características geométricas de la soldadura a tope, de tal modo que puedan proporcionarse pautas para elegir las dimensiones efectivas de la soldadura. Con este estudio se dedujo que el proceso de soldadura resulta efectivo. Enfatizaron que el uso de material de relleno de soldadura más fuerte no es capaz de garantizar una mayor resistencia a la soldadura, ya que el procedimiento operativo del proceso de soldadura desempeña un papel clave (9).
- El departamento de ingeniería civil de la universidad de Tsinghua (China) desarrolló un método mejorado de empalme para barras de acero de diámetro medio (10-16 mm) buscando una instalación más fácil y económica a través de la conexión híbrida de soldadura y solapamiento. A través del experimento de tracción por empalme, se resumió el modelo de falla y la resistencia máxima del empalme. El mecanismo de falla fue analizado por el método de los elementos finitos. Los resultados de esta investigación muestran que la conexión híbrida de soldadura y solapamiento es el método de empalme más simple y confiable para las estructuras metálicas estudiadas (10).
- En el año 2015 *Progress Maschinen&Automation* puso en funcionamiento una máquina de soldadura en jaula totalmente automatizada la cual no solo presenta una alta calidad de la soldadura y bajos valores de consumo de energía gracias a su unidad de soldadura inversora, sino que también reduce considerablemente la formación de chispas. Además, el diámetro de la jaula puede cambiarse rápidamente incluso durante el proceso de producción. El problema de esta máquina automatizada es que sirve únicamente para una disposición de las barras, es por ello que deben seguir investigándose nuevos métodos (11).
- El Centro Universitario de Volta Redonda de Brasil realizó en 2015 un estudio acerca de los alambres CA-50, de la clase de los aceros SAE 1026. Este estudio se realizó ya que, para conseguir un mejor control de las propiedades mecánicas de la junta soldada, es decir, para encontrar los parámetros ideales de soldadura, es de gran importancia el conocimiento de ciertas variables. Para dicho estudio se realizó la soldadura del material utilizando como gas de protección argón con

20% de dióxido de carbono, el alambre utilizado fue cobre ER70S-6, las juntas soldadas fueron de tipo traspasado con monitoreo de temperatura a través de termopares para dos aportes térmicos distintos. Se utilizó un código numérico computacional para simular los fenómenos que ocurren en el proceso (gradiente de temperatura, transformaciones de fases, transferencia de calor...). Debido al gradiente de temperatura, se presentaron dos tamaños de grano diferentes, además de originarse características distintas en el cordón de soldadura. Estudiando las soldaduras a tracción se observó que las soldaduras realizadas con un aporte térmico menor, en este caso 1,3KJ/mm pasaron el análisis de calidad, pues las probetas rompieron fuera de la región soldada, siendo más frágiles las soldaduras realizadas con un aporte térmico mayor; lo que significa que el aumento del aporte térmico tiende a favorecer el crecimiento de los granos, reduciendo por tanto la resistencia del metal y favoreciendo la ruptura de la junta soldada. Aunque esto resulta muy útil, en el caso del estudio que se detalla en este documento no serviría, ya que se buscan parámetros de soldadura productivos como son tiempo, potencia e intensidad, esto es debido a que sería muy difícil controlar la temperatura (12).

- En el año 2015, en la universidad del Rey Fahd (Universidad de Petróleo y Minerales) de Arabia Saudí se investigó el efecto de la estructura metalúrgica y la composición química sobre la longitud efectiva de la soldadura de solape de barras de acero de refuerzo y las uniones soldadas. Del estudio concluyeron que las barras laminadas en caliente mostraban longitudes de soldadura más bajas que las barras TEMPCORE (el proceso TEMPCORE consiste en enfriar las barras con agua a presión, de modo que la capa exterior se enfrió desde 1000°C hasta los 300°C. El calor del interior de la barra recalienta la zona exterior y la martensita se reviene. De este modo se obtiene un corazón de ferrita y perlita, un área de transición y una capa exterior de martensita revenida). Otra de las conclusiones que se obtuvieron es que a medida que aumenta el tamaño de la barra, aumenta la longitud aceptable de la soldadura por solapado; aunque la soldadura a tope para tamaños más grandes (>20mm) es más efectiva que la soldadura por solape. Además, con este estudio se descubrió que la soldadura tiene un efecto insignificante (menos del 1%) en la resistencia al rendimiento de las barras laminadas en caliente, mientras que para las Tempcore se observó una ligera disminución del 4% del límite elástico. El estudio de la martensita debería ser estudiado, y quedaría pendiente para estudios futuros (13).
- La Universidad Carlos III de Madrid realizó un estudio acerca de la corrosión en acero corrugado; para ello tres grados diferentes de acero corrugado (UNS S20430, S30403 y S32205) fueron soldados de manera similar a las barras de acero inoxidable con una misma composición y soldadura diferente al acero al carbono. Los óxidos de la soldadura fueron limpiados mediante chorro de arena.

Después de 8 años de exposición, las muestras se polarizaron anódicamente. La evaluación visual del ataque se realizó después de otro año adicional de exposición. Del estudio se concluyó lo siguiente: los refuerzos de acero inoxidable soldados con chorro de arena tienen menor resistencia a la corrosión que los aceros inoxidables no soldados con la misma composición; el efecto del chorro de arena es beneficioso para el acero al carbono, ya que reduce la velocidad de corrosión; la resistencia a la corrosión con chorro de arena S32205-S32205 es muy buena, pero podría mejorarse más todavía utilizando un electrodo de soldadura más aleado (14).

Analizando los diferentes procesos de soldadura y los estudios realizados hasta el momento se propone la soldadura de ferralla mediante soldadura por resistencia eléctrica. Este método es rápido, seguro, limpio y ecológico, y no requiere consumibles como varillas de soldadura. Resulta muy interesante la reducción de costes que se puede obtener mediante la utilización de este proceso, tanto en tiempo de soldadura como en la reducción de los materiales necesarios, al eliminar el material de aporte. Es por ello que a continuación se realiza un estudio acerca de la soldadura por resistencia eléctrica para la elaboración de ferralla.

4. Objetivos

Los objetivos perseguidos con esta investigación son:

- Eliminar la soldadura manual con aporte de material por una Soldadura Eléctrica por Resistencia (sin aporte de material), presentando un puesto de trabajo más saludable donde no sería necesaria la protección ocular y se eliminaría la aportación de gas y el material fundente, eliminando de esta forma las fuentes generadoras de los gases.
- Obtener operaciones de montaje más limpias de modo que se eviten las inhalaciones de gases en el puesto de trabajo.
- Reducir las emisiones y consumibles, que incidirá en el balance ambiental del producto de forma positiva.
- Reducir los tiempos de ejecución de las soldaduras.
- Reducir los costes al eliminar el material de aportación.

5. Metodología

5.1. Introducción

A continuación, se desarrolla la metodología llevada a cabo para estudiar la viabilidad del soldeo eléctrico por resistencia para elaboración de ferralla.

5.2. Estudio de los métodos de soldadura actuales

Se realiza un estudio previo de las emisiones de gases generadas en el proceso productivo mediante los medios empleados actualmente en las instalaciones de “*Vigas Mazo*” (15).

El proceso productivo empleado actualmente en “*Vigas Mazo*” es la soldadura, en concreto la soldadura MIG.

La soldadura MIG (*Metal Inert Gas*) es un proceso de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible. El arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas a unir, quedando este protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte.

La soldadura MIG es un proceso versátil, pudiendo depositar el metal a una gran velocidad y en todas las posiciones. Este procedimiento es muy utilizado, especialmente donde se requiere un gran trabajo manual. La soldadura por gas inerte de metal utiliza un electrodo de metal que sirve como material de relleno para la soldadura y se consume durante el proceso de soldadura.

La presencia del hilo continuo que se funde y el gas para generar la atmósfera adecuada provoca una serie de gases que deben ser evacuados de la zona en la que se encuentra el operario.

Se han realizado una serie de mediciones sobre la calidad del aire, en el entorno de trabajo de los soldadores, dentro del plan de prevención de riesgos en el trabajo, del resultado de las mismas se concluye que la soldadura por fusión sin aporte de material presenta menores emisiones.

5.3. Combinación de las probetas

Una vez revisada la producción habitual de “Vigas Mazo” en los productos elaborados de ferralla armada, de todas las combinaciones posibles de diámetros a soldar se ha seleccionado una muestra representativa.



Ilustración 1. Producción de ferralla

Tras estudiar los diámetros frecuentes que se emplean en la configuración de los cercos (8, 10 y, excepcionalmente, 12 y 16) y las armaduras longitudinales (10, 12, 16, 20, excepcionalmente 25). Se realiza una configuración de 8 uniones combinando los diferentes diámetros como se identifica en la tabla adjunta.

Diámetro A	Diámetro B	Espesor unión
8	8	16
8	10	18
8	12	20
10	12	22
12	12	24
10	16	26
12	16	28
16	16	32

Tabla 1. Combinación de diámetros

Esta selección permite analizar un continuo discreto en los espesores de las uniones más frecuentes que se realizan en el taller de ferralla de la empresa “Vigas Mazo”.

Para estudiar estas uniones se obtienen probetas de material B500-S, estas probetas son barras corrugadas soldables de acero laminado en caliente, las cuales cuentan con al menos dos filas de corrugas transversales uniformemente distribuidas a lo largo de su longitud. Para el Diámetro A se toman muestras de longitud 60 cm y para el Diámetro B se toman piezas de 15 cm. De esta forma se pretenden realizar crucetas soldadas en el

laboratorio de tres piezas Diámetro B sobre cada una de las piezas Diámetro A, como se muestra en la siguiente figura.

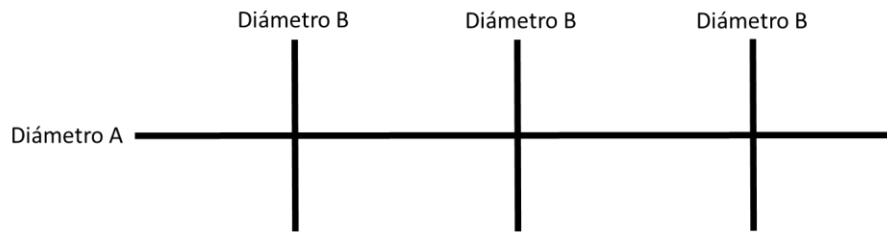


Ilustración 2. Probeta

Dadas las características del material, se opta por configurar estas tres uniones para obtener un dato medio representativo de la soldadura realizada. Estas soldaduras se realizan modificando los parámetros en el equipo de soldadura “MPH Digital Neumática”.

5.4. Soldadura de las probetas

Las soldaduras se realizan con el equipo de soldadura “MPH Digital Neumática”, cuyas características vienen dadas en el Anexo II. Este equipo, regulado mediante un sistema de control electrónico por tiristores permite modificar: el tiempo de punto de soldadura, la potencia empleada y la presión de los electrodos. El controlador digital permite efectuar los ajustes de parámetros de una forma muy simplificada, con la posibilidad de efectuar ciclos de soldadura con uno o dos impulsos de corriente. Esta característica facilita la soldadura de piezas con algunos restos de óxido o revestimiento de protección. El primer impulso efectúa el decapado de la pieza y el segundo impulso consolida el punto de soldadura. Los parámetros de cada uno de los impulsos (corriente y tiempo) bien como el intervalo entre impulsos (cold) pueden ser regulados separadamente.

Características del equipo de soldadura:

- La corriente de soldadura del primer impulso se establece siguiendo una rampa fija (up-slope) evitando picos de corriente en la red de alimentación. La ausencia de contactores de potencia, aumenta la fiabilidad de la máquina.
- Excelente precisión en la repetitividad de los parámetros (corriente/tiempo).
- A través del interruptor suelda/no suelda, es posible simular ciclos de funcionamiento sin corriente en los puntos, permitiendo hacer los ajustes necesarios de las posiciones de soportes y puntos, antes de iniciar las operaciones de soldadura.

A continuación, se muestra una imagen del equipo de soldadura utilizado.

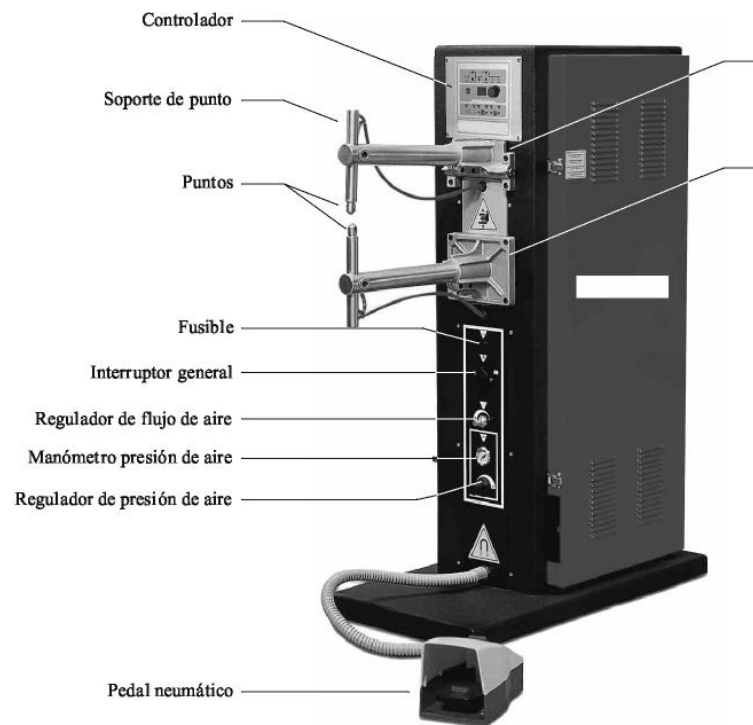


Ilustración 3. Equipo de soldadura "MPH Digital Neumática"

Para poder realizar las soldaduras en las probetas se configura un utillaje que se puede observar en la imagen. Disponiéndose de forma adicional medidores de corriente y tensión en las entradas y salidas del equipo. Se captura también un video mediante cámara termo-gráfica del proceso de soldadura realizado.

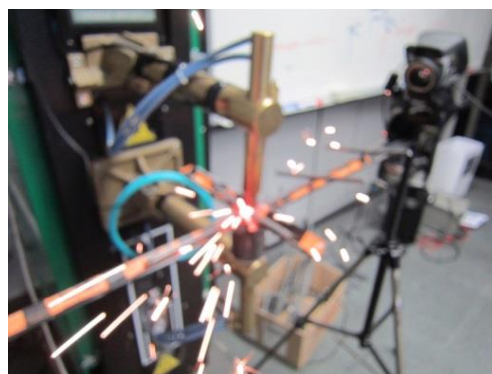
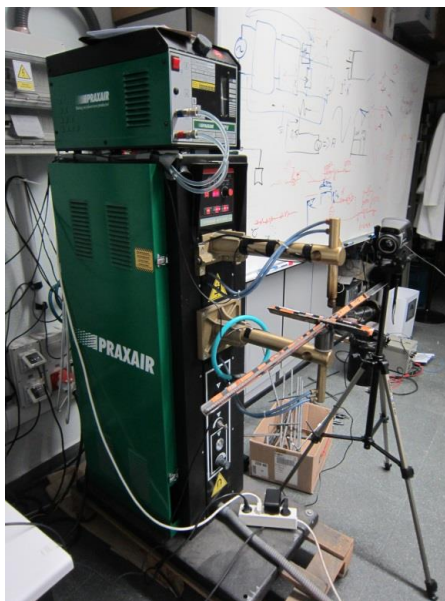


Ilustración 4. Proceso de soldadura

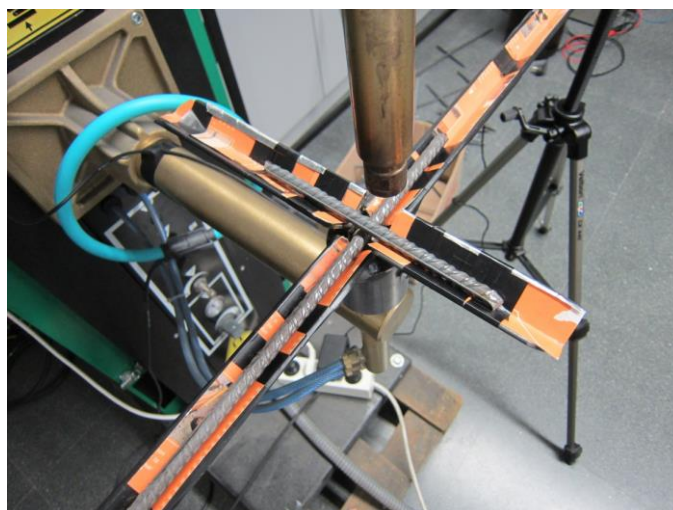


Ilustración 5. Utillaje empleado para soldadura

Se realizan una serie de pruebas para adaptar la potencia del equipo a las necesidades de las uniones a realizar. Se establece como estrategia introducir la soldadura en dos fases:

- Preparación y precalentamiento de la zona de contacto: con el 50% de la intensidad y 1/3 del tiempo previsto. De modo que quede limpia y preparada la zona a soldar.
- Soldadura con presión constante en intensidad y en tiempo: la intensidad (A) del ensayo, el tiempo (t) y la presión (P) correspondiente.

Se establece un algoritmo para los tiempos de actuación de la potencia en función del espesor de la unión que se ha de realizar, al detectarse problemas en las uniones tanto por defecto de fusión (uniones muy débiles) como por exceso de la misma (uniones incompatibles con el mantenimiento de la sección). Este algoritmo viene dado del siguiente modo: para el espesor mínimo (8+8) se emplean tiempos de 25, 35 y 45 y para los siguientes espesores se multiplican esos tiempos por el número resultante de dividir el espesor entre 16. En la tabla se adjunta el menú de soldaduras realizadas poniendo los parámetros de la fase 2. La fase 1 de la soldadura se regula por lo descrito en el párrafo anterior.

La potencia (A) varía desde el 40% hasta el 80%, de la potencia total que puede aportar la máquina, el tiempo indicado en amarillo refleja el mínimo para el caso 8-8. Los datos de tiempo vienen dados por porcentajes de la máquina, donde el 100% se correspondería con 2 segundos y el resto de porcentajes, lo proporcional (se va incrementando con el espesor y la presión utilizada entre 5 y 7 bares).

A (1-99)	40	50	60	70	80
t (1-99)	25	35	45		
P (3-7)	5	6	7		

Tabla 2. Parámetros de soldadura para el espesor mínimo

Los parámetros elegidos para las soldaduras de cada probeta vienen mostrados en la siguiente tabla. En ella se muestra la potencia y la correspondiente intensidad a utilizar junto con el tiempo que se utiliza para cada espesor.

P (3-7)	A (1-99)	8_8	8_10	8_12	10_12	12_12	10_16	12_16	16_16
5	40	25	29	32	35	38	41	44	50
5	50	25	29	32	35	38	41	44	50
5	60	25	29	32	35	38	41	44	50
5	70	25	29	32	35	38	41	44	50
5	80	25	29	32	35	38	41	44	50
5	40	35	40	44	49	53	57	62	70
5	50	35	40	44	49	53	57	62	70
5	60	35	40	44	49	53	57	62	70
5	70	35	40	44	49	53	57	62	70
5	80	35	40	44	49	53	57	62	70
5	40	45	51	57	62	68	74	79	90
5	50	45	51	57	62	68	74	79	90
5	60	45	51	57	62	68	74	79	90
5	70	45	51	57	62	68	74	79	90
5	80	45	51	57	62	68	74	79	90
6	40	25	29	32	35	38	41	44	50
6	50	25	29	32	35	38	41	44	50
6	60	25	29	32	35	38	41	44	50
6	70	25	29	32	35	38	41	44	50
6	80	25	29	32	35	38	41	44	50
6	40	35	40	44	49	53	57	62	70
6	50	35	40	44	49	53	57	62	70
6	60	35	40	44	49	53	57	62	70
6	70	35	40	44	49	53	57	62	70
6	80	35	40	44	49	53	57	62	70
6	40	45	51	57	62	68	74	79	90
6	50	45	51	57	62	68	74	79	90
6	60	45	51	57	62	68	74	79	90
6	70	45	51	57	62	68	74	79	90
6	80	45	51	57	62	68	74	79	90
7	40	25	29	32	35	38	41	44	50
7	50	25	29	32	35	38	41	44	50
7	60	25	29	32	35	38	41	44	50
7	70	25	29	32	35	38	41	44	50
7	80	25	29	32	35	38	41	44	50
7	40	35	40	44	49	53	57	62	70
7	50	35	40	44	49	53	57	62	70
7	60	35	40	44	49	53	57	62	70
7	70	35	40	44	49	53	57	62	70
7	80	35	40	44	49	53	57	62	70
7	40	45	51	57	62	68	74	79	90
7	50	45	51	57	62	68	74	79	90
7	60	45	51	57	62	68	74	79	90
7	70	45	51	57	62	68	74	79	90
7	80	45	51	57	62	68	74	79	90

Tabla 3. Parámetros de soldadura elegidos

Las varillas que se unen son presionadas juntas por los electrodos de la máquina soldadora de modo que hagan un buen contacto eléctrico. Entonces, se pasa la corriente eléctrica a través de ellos, se calientan hasta que empiecen a fundir en el punto donde están en contacto, es en ese momento cuando el metal fundido de las dos piezas fluye

y las piezas se unen, la corriente se apaga y el metal fundido se solidifica, formando una conexión metálica sólida entre las dos piezas.

La soldadura realizada es soldadura por puntos, de modo que las piezas quedan soldadas por pequeñas zonas circulares aisladas y espaciadas, debido a su pequeño tamaño, se denominan puntos.

Dentro de cada valor de presión se comandan 15 puntos discretos combinando tiempo e intensidad. En cada selección de parámetros se realizan seis soldaduras obteniendo un total de 270 uniones para cada espesor. Las uniones se forman en dos probetas como las de la imagen y se codifican con los parámetros de regulación de la máquina. Se realizan dos probetas idénticas (mismos diámetros, misma presión, mismo tiempo y misma intensidad del ensayo) de cada una de las combinaciones estudiadas, al objeto de poder realizar dos ensayos físicos diferentes: tracción y cizalladura.

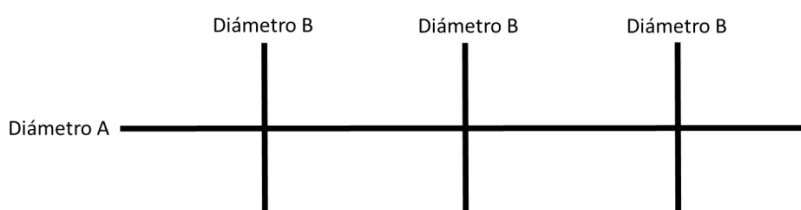


Ilustración 6. Probetas

5.5. Etiquetado de las probetas

Las probetas se etiquetan para reconocer qué probeta es la que se está ensayando, para ello las etiquetas siguen una nomenclatura del siguiente modo:

Diámetro de la barra longitudinal – Diámetro de las barras transversales – A – Intensidad utilizada – t – Tiempo utilizado – P – Presión utilizada.

En todos los casos se cuenta con dos probetas con etiquetas idénticas, ya que de cada tipología de probeta se fabrican dos iguales, para posteriormente ensayar una de ellas a cizalladura y la otra a tracción. Un ejemplo del etiquetado de las probetas puede verse en la imagen mostrada a continuación.



Ilustración 7. Etiqueta con nomenclatura

5.6. Medida de la unión

Como paso previo para contrastar la bonanza de la unión realizada se toman medidas de la zona de contacto. Tal y como se muestra en la imagen.



Ilustración 8. Medida de la unión

Para ello se utiliza un micrómetro o calibre de Palmer, cuyo funcionamiento se basa en un tornillo micrométrico que sirve para valorar el tamaño de las uniones con gran precisión, en un rango del orden de centésimas o de milésimas de milímetro. Para realizar las mediciones, dispone de dos extremos que se aproximan progresivamente.

De esta forma puede contrastarse la medida obtenida, con respecto al espesor teórico ($\text{Diámetro A} + \text{Diámetro B}$) y deducir si la soldadura es correcta. De modo que si el espesor medido se compara con el valor nominal ($\text{Diámetro}_A + \text{Diámetro}_B$) y el primero descende por debajo de un 15% con respecto del segundo, ese valor debería ser descartado.

5.7. Despegue

Para estudiar el despegue se cuenta con un equipo habitualmente empleado para realizar ensayos de tracción: “Servosis ME-420/20” que permite registrar, en cada punto soldado, la fuerza precisa para proceder al despegue.



Ilustración 9. Servosis ME-420/20

Para realizar los ensayos de despegue se implementan unos utillajes específicos dependiendo si se está ensayando a cizalladura o a tracción.



Ilustración 10. Despegue

5.7.1. Despegue por cizalladura

El ensayo de despegue por cizalladura se realiza con ayuda de un único utillaje, manteniendo fija la varilla de Diámetro A y fijando a la mordaza de la máquina a la varilla de Diámetro B, tal y como se muestra en la figura (τ).



Ilustración 11. Despegue por cizalladura

Este ensayo aporta datos sobre la resistencia de las uniones practicadas. En la zona de pequeña potencia se producen uniones débiles (incluso algunas rompen antes de llegar al laboratorio) y en la zona superior aparecen excesos de fusión en la operación, este último detalle se muestra en la imagen adjunta.



Ilustración 12. Exceso de fusión

5.7.2. Despegue por tracción

El ensayo de despegue por tracción, a diferencia del de cizalladura, necesita la ayuda de dos utillajes de modo que se mantiene fijo el Diámetro A y se fija a la mordaza de la máquina el Diámetro B, tal y como se muestra en la figura (σ).

Cada uno de los utillajes va sujeto en una de las mordazas, de modo que cuando la mordaza inferior se cierra y comienza a bajar, su respectivo utillaje tira de la barra de Diámetro B hasta que se produce el despegue.



Ilustración 13. Despegue por tracción

En este ensayo ocurre lo mismo que en el anterior, pueden encontrarse tanto uniones débiles, como excesos de fusión en la soldadura.

5.7.3. Resultante de la fuerza

Una vez obtenidos los resultados de las dos fuerzas ortogonales se realiza la media de los tres valores obtenidos en cada probeta y se combinan los resultados de tracción y de cizalladura, obteniendo la resultante de fuerza necesaria para realizar el despegue. Tal y como se muestra en el croquis adjunto.

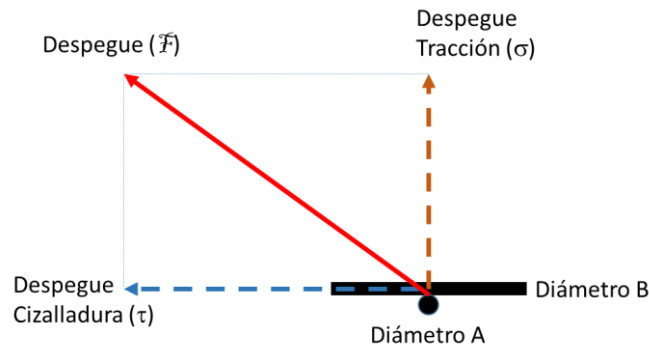


Ilustración 14. Resultante de fuerza necesaria para el despegue

Además de realizar esta operación, con los datos se aplican dos filtros. Un filtro en la parte inferior, descartando aquellos valores cuyo módulo de F resulta inferior a 350 kg, ya que, de ser menor, dificultaría incluso el transporte en camiones de las piezas, ya que estas no aguantarían el peso del resto de piezas que puedan ir almacenadas por encima de ellas. Por la parte superior se descartan aquellos valores en los que el espesor resultante de la unión comparado con el valor teórico descienda por debajo del 15%.

6. Resultados

Las tablas de resultados tanto de las medidas de las soldaduras, de los resultados del despegue (ensayo a cizalladura, ensayo a tracción y despegue total), como de los resultados filtrados siguiendo los criterios explicados en el apartado anterior, se encuentran en el Anexo I.

Cada una de las tablas contiene los resultados obtenidos en el laboratorio para cada una de las combinaciones de espesores realizadas.

A continuación, se muestran unas gráficas resumen de los resultados obtenidos una vez filtrados, es decir, descartando los valores de la resistencia a tracción que están por debajo de los 350 kg, así como los valores en los que el espesor resultante de la unión comparado con el valor teórico descienda por debajo del 15%.

En dichas gráficas viene representada la intensidad en Amperios (potencia) en el eje de abscisas, y la resistencia a tracción soportada en kg, en el eje de ordenadas. En cada una de las gráficas aparecen dibujadas 3 líneas, todas con la misma presión de los electrodos y cada una de ellas con un tiempo de punto de soldadura expresado en porcentaje.

6.1. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=8mm

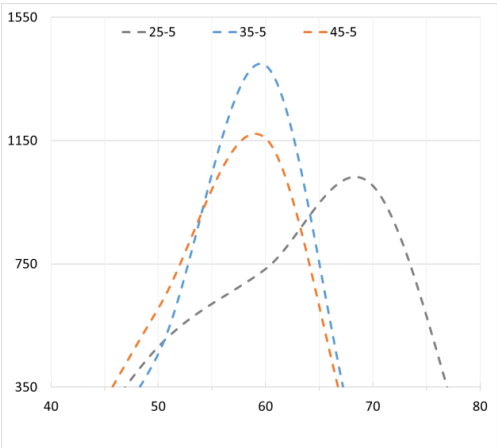


Ilustración 15: Resultados para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=8mm; Presión=5bar

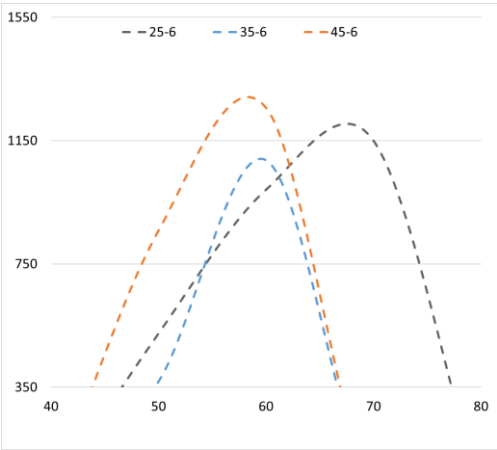


Ilustración 16: Resultados para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=8mm; Presión=6bar

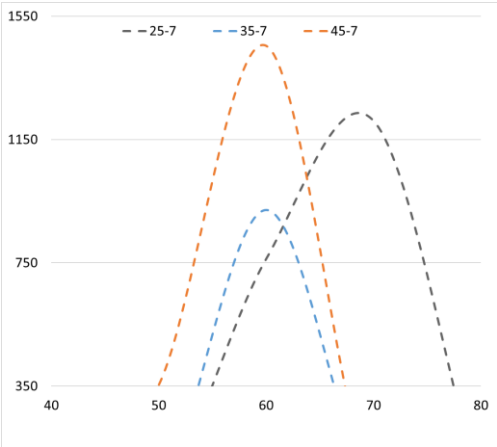


Ilustración 17: Resultados para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=8mm; Presión=7bar

6.2. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=10mm

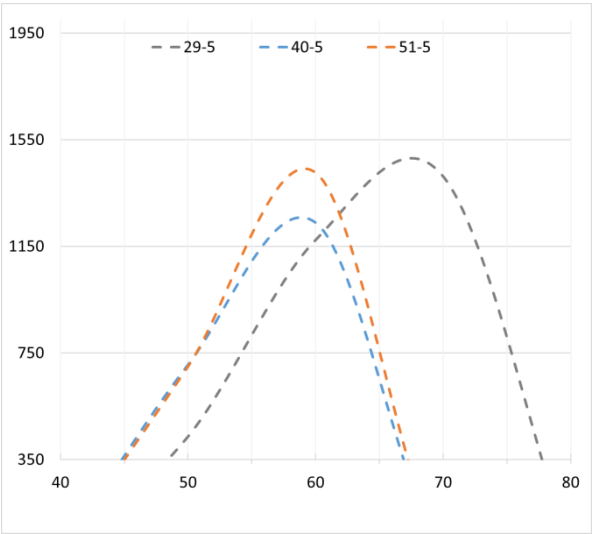


Ilustración 18. Resultados para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=10mm; Presión=5bar

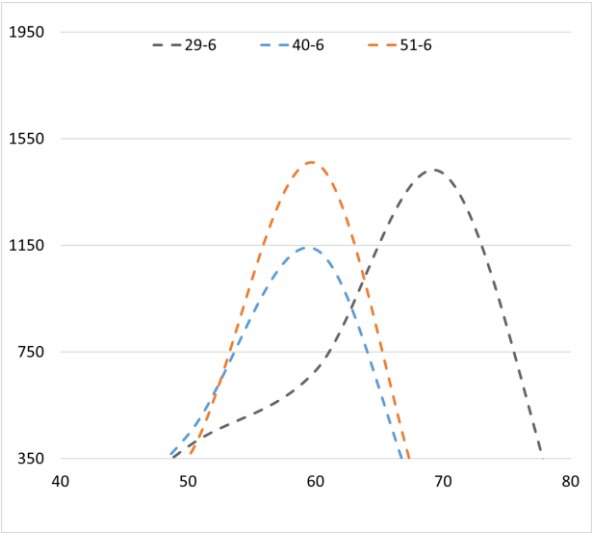


Ilustración 19. Resultados para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=10mm; Presión=6bar

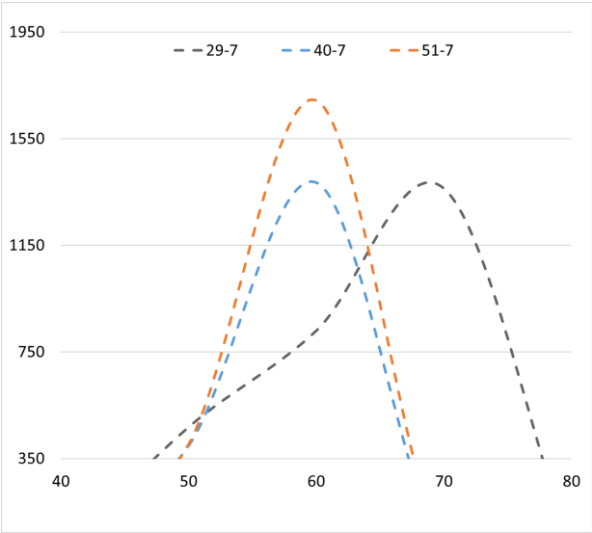


Ilustración 20. Resultados para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=10mm; Presión=7bar

6.3. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=12mm

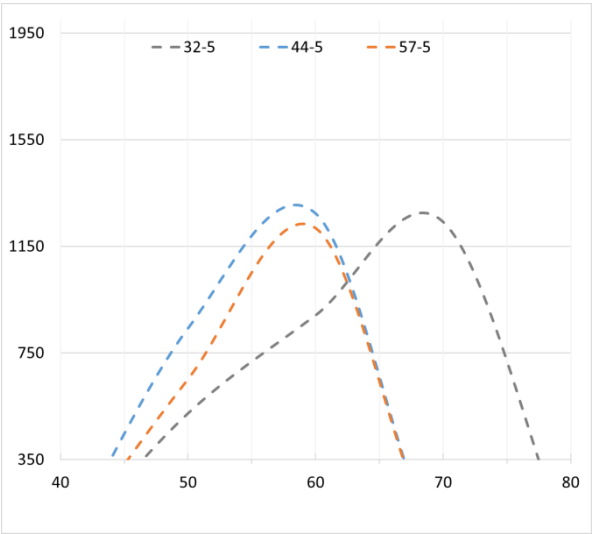


Ilustración 21. Resultados para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=12mm; Presión=5bar

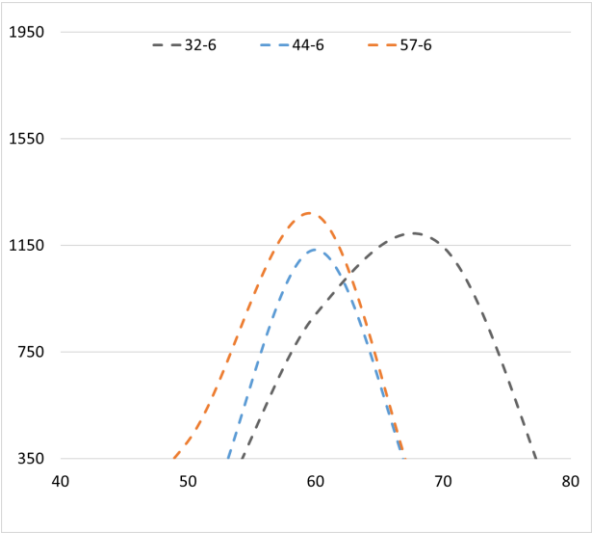


Ilustración 22. Resultados para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=12mm; Presión=6bar

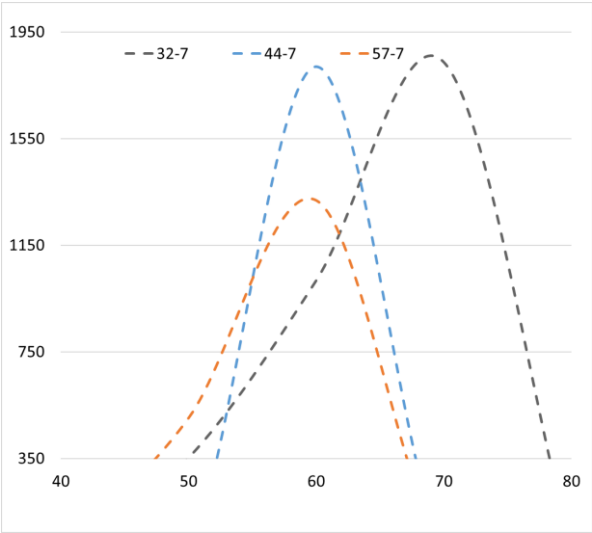


Ilustración 23. Resultados para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=12mm; Presión=7bar

6.4. Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=12mm

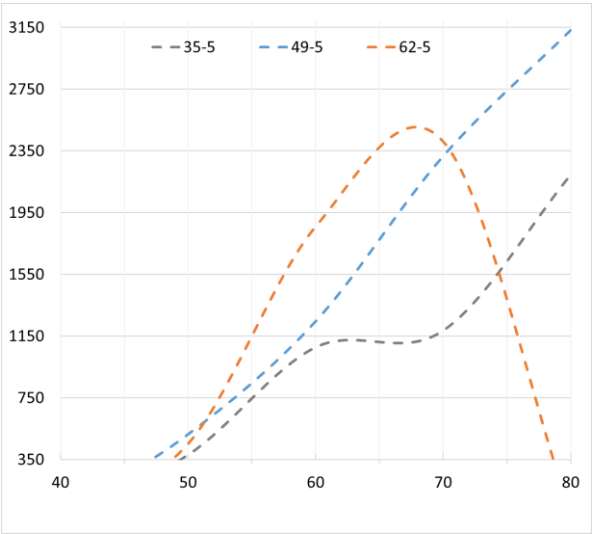


Ilustración 24. Resultados para Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=12mm; Presión=5bar

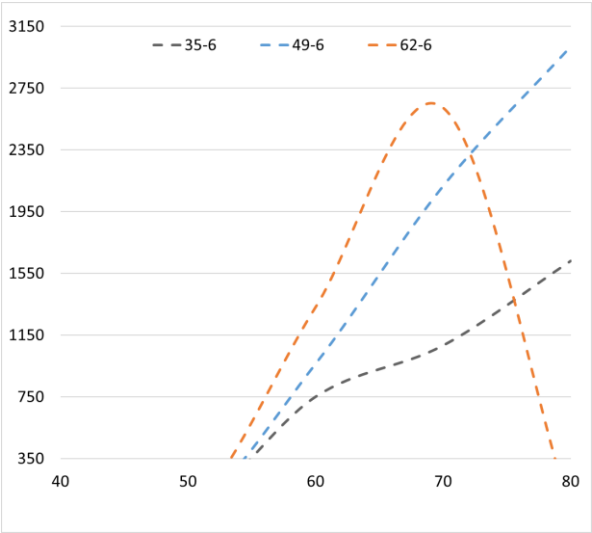


Ilustración 25. Resultados para Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=12mm; Presión=6bar

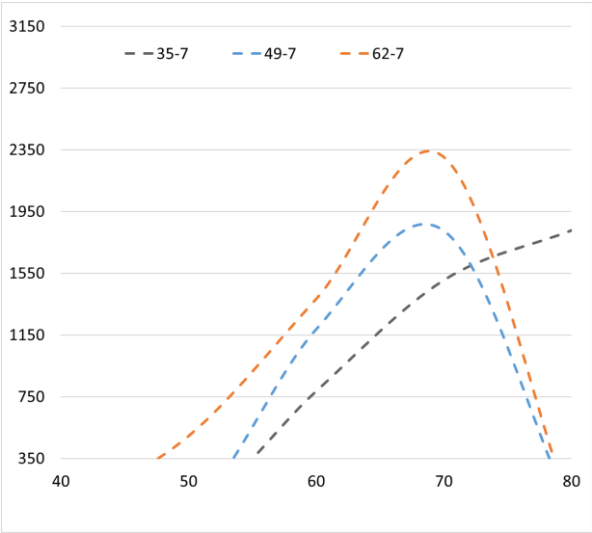


Ilustración 26. Resultados para Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=12mm; Presión=7bar

6.5. Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=12mm

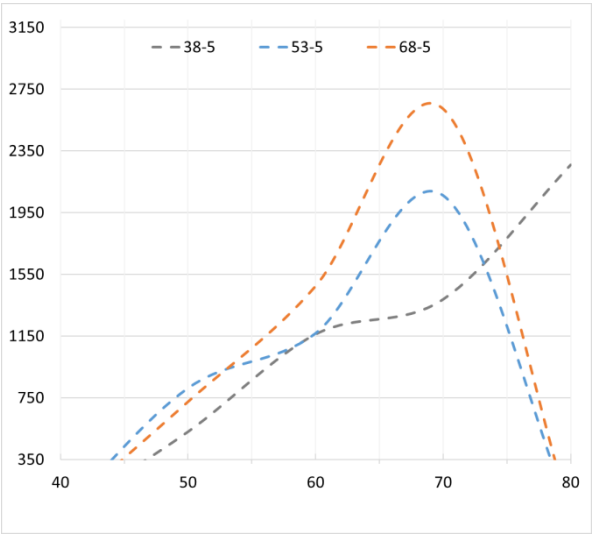


Ilustración 27. Resultados para Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=12mm; Presión=5bar

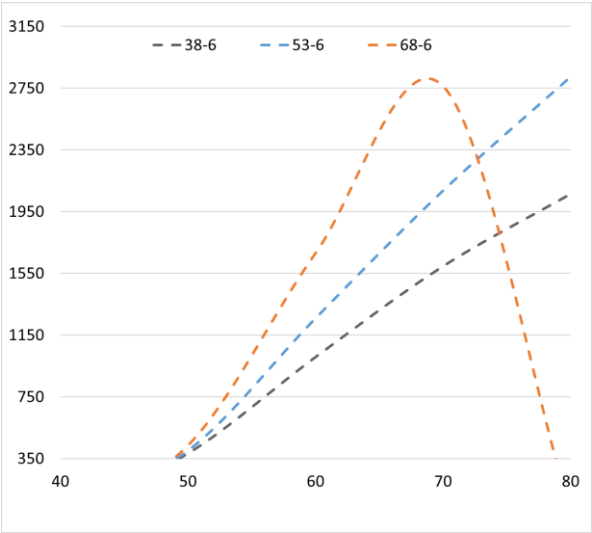


Ilustración 28. Resultados para Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=12mm; Presión=6bar

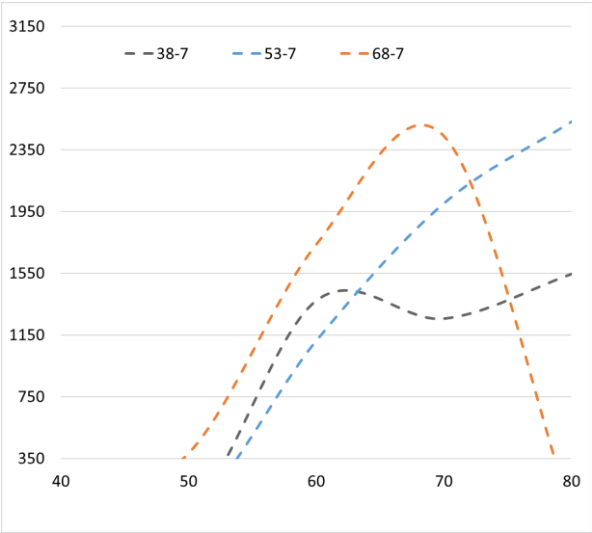


Ilustración 29. Resultados para Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=12mm; Presión=7bar

6.6. Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=16mm

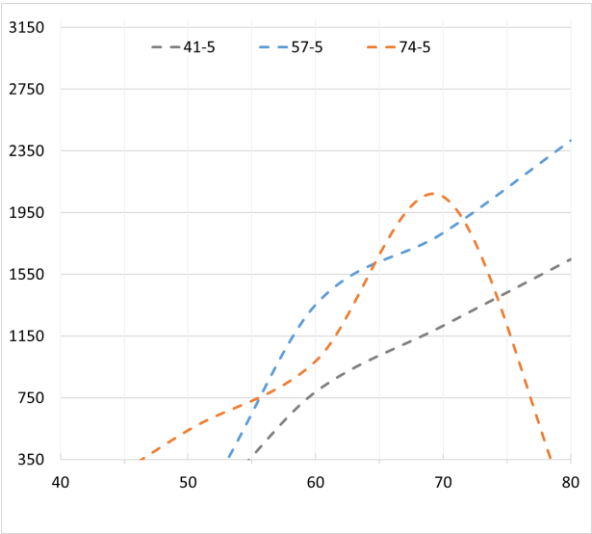


Ilustración 30. Resultados para Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=16mm; Presión=5bar

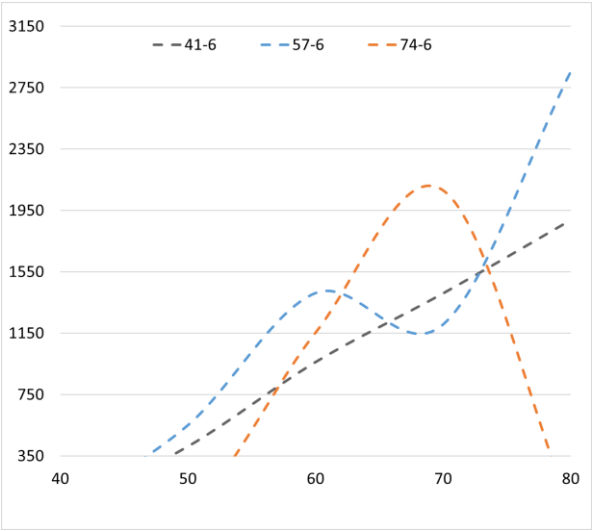


Ilustración 31. Resultados para Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=16mm; Presión=6bar

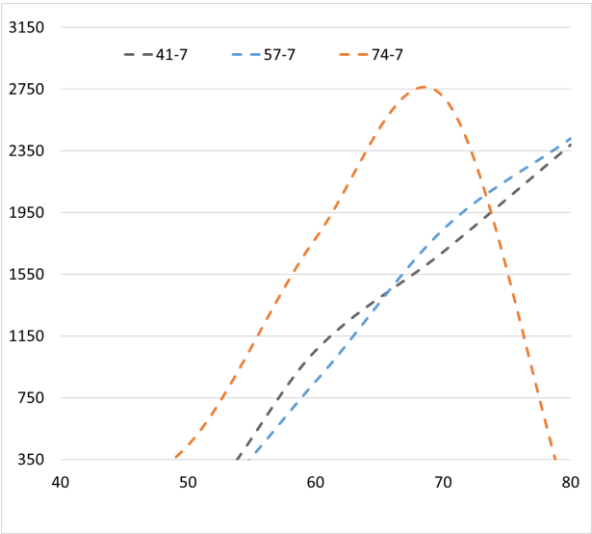


Ilustración 32. Resultados para Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=16mm; Presión=7bar

6.7. Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=16mm

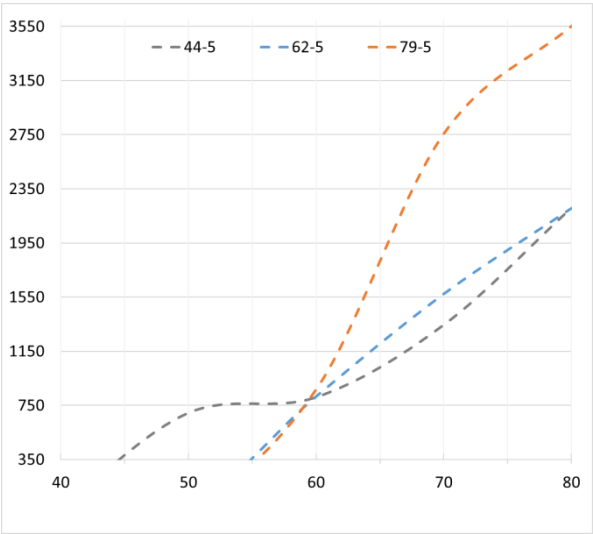


Ilustración 33. Resultados para Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=16mm; Presión=5bar

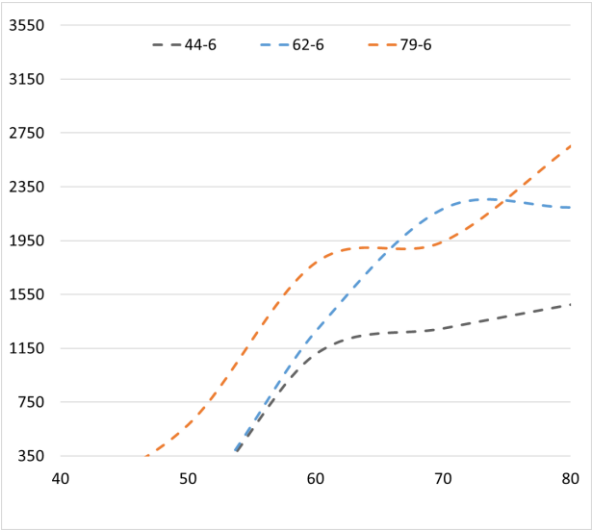


Ilustración 34. Resultados para Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=16mm; Presión=6bar

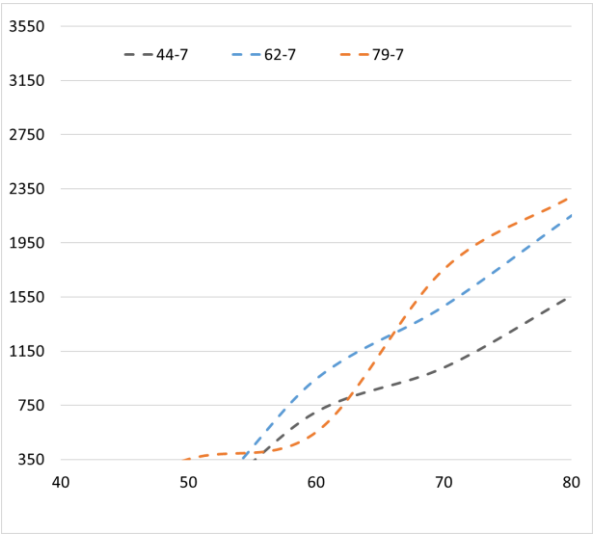


Ilustración 35. Resultados para Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=16mm; Presión=7bar

6.8. Diámetro_A=16mm, Diámetro_B=16mm

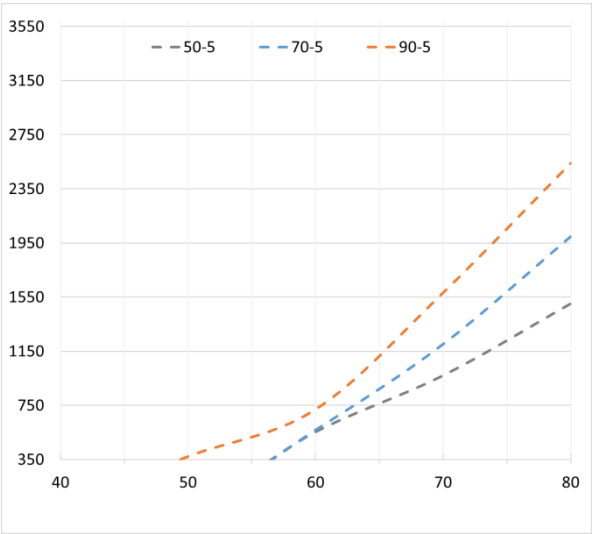


Ilustración 36. Resultados para Diámetro_A=16mm, Diámetro_B=16mm; Presión=5bar

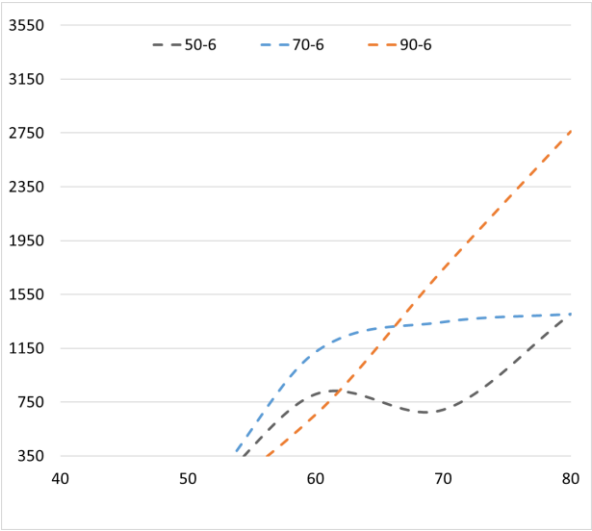


Ilustración 37. Resultados para Diámetro_A=16mm, Diámetro_B=16mm; Presión=6bar

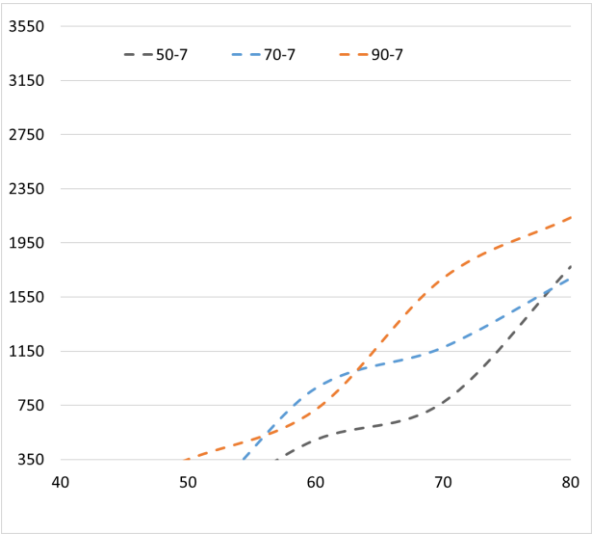


Ilustración 38. Resultados para Diámetro_A=16mm, Diámetro_B=16mm; Presión=7bar

7. Conclusiones

Trabajando con diámetros pequeños (8+8) se detecta una zona central en la que se obtienen los mejores resultados. No es interesante incrementar la energía puesta en juego para la soldadura. En el caso de trabajar con diámetro (8+10) se observa un comportamiento similar. Alcanzándose en ambos casos picos de uniones que soportan 1.5 toneladas.

Para la situación de diámetros (8+12) se localiza una frontera en la unión en el entorno de la tonelada, que se ve mejorada si se incrementa la presión hasta los 7 bares de forma razonable.

En el caso de soldar (10+12) se localiza el límite de la posible energía a poner en juego para la soldadura resultando uniones límite que soportan cargas del orden de 2.3 toneladas.

En el caso de soldar (12+12) se localiza el límite de la posible energía a poner en juego para la soldadura resultando uniones límite que soportan cargas del orden de 2.7 toneladas. Resultando la presión de 6 bares la más interesante como presión de trabajo. El incremento de presión en esta situación no aporta un beneficio apreciable.

En el caso de soldar (10+16) se localiza el límite de la posible energía a poner en juego para la soldadura resultando uniones límite que soportan cargas del orden de 2.3 toneladas. En este caso la diferencia entre los diámetros que forman parte de la unión es la que provoca uniones defectuosas si por encima del 70% de la potencia.

En el caso de soldar (12+16) se localiza el límite de la posible energía a poner en juego para la soldadura resultando uniones límite que soportan cargas del orden de 2.3 toneladas. Situándose esta cifra en el caso de emplear la presión de 7 bares. Al disponer de masa en la zona de la unión la aplicación de energía combina mejor con presiones bajas como se detecta en el caso de 5 bares y mayor tiempo de actuación con un pico de 3.3 toneladas.

En el caso de soldar (16+16) se localiza el límite de la posible energía a poner en juego para la soldadura resultando uniones límite que soportan cargas del orden de 2.7 toneladas. En este caso es preciso incrementar los tiempos para obtener resultados más elevados. Al disponer de masa en la unión no se producen descartes de uniones por mellas de las secciones.

Para facilitar el entendimiento de los resultados se ha elaborado la siguiente tabla resumen donde se recogen los mejores valores de resistencia de las uniones obtenidos:

DIÁMETRO A	DIÁMETRO B	PRESIÓN	TIEMPO 1	TIEMPO 2	TIEMPO 3	60 A	70 A	80 A
8	8	5	25				1004	
				35		1394		
					45	1158		
8	8	6	25				1150	
				35		1087		
					45	1256		
8	8	7	25				1211	
				35		921		
					45	1454		
8	10	5	29				1412	
				40		1239		
					51	1427		
8	10	6	29				1419	
				40		1136		
					51	1457		
8	10	7	29				1363	
				40		1385		
					51	1693		
8	12	5	32				1242	
				44		1274		
					57	1219		
8	12	6	32				1144	
				44		1132		
					57	1267		
8	12	7	32				1835	
				44		1820		
					57	1318		
10	12	5	35					2196
				49				3133
					62		2410	
10	12	6	35					1629
				49				3020
					62		2622	
10	12	7	35					1828
				49			1826	
					62		2302	
12	12	5	38					2259
				53			2061	
					68		2624	
12	12	6	38					2064
				53				2825
					68		2763	
12	12	7	38					1546
				53				2532
					68		2437	
10	16	5	41					1646
				57				2416
					74		2055	
10	16	6	41					1887
				57				2856
					74		2080	
10	16	7	41					2388
				57				2430
					74		2701	
12	16	5	44					2211
				62				2206
					79			3553
12	16	6	44					1476
				62				2196
					79			2651
12	16	7	44					1559
				62				2153
					79			2294
16	16	5	50					1503
				70				1998
					90			2540
16	16	6	50					1406
				70				1403
					90			2761
16	16	7	50					1775
				70				1690
					90			2137

Los valores marcados en rojo, se corresponden con el mejor valor de cada espesor, y son los que van a servir de ayuda principalmente para sacar conclusiones.

Del estudio de la tabla podemos concluir lo siguiente:

Cuando el espesor de la unión es menor de 20 mm deben hacerse las soldaduras utilizando baja potencia (60 A). Aunque en algún caso el mejor resultado se obtiene a la máxima presión, la recomendación es trabajar a una presión de 6 bares con el fin de evitar rechazos de uniones por fusión excesiva. En cuanto al tiempo, un tiempo en torno a 35-40% garantizará una resistencia adecuada de la unión en todos los casos.

Para un espesor de la unión de 20 mm, los mejores resultados se obtienen elevando a 70 Amperios la potencia entregada por la máquina, aunque manteniendo los parámetros utilizados para espesores más bajos también se garantiza la resistencia de la unión.

Para espesores por encima de 20 mm se requiere elevar la potencia a 80 A, obteniendo resultados correctos aún con presión de 5 bar y tiempos de soldadura cortos.

Como conclusión final puede decirse que el proceso de soldadura mediante resistencia eléctrica es válido para la soldadura de ferralla.

8. Líneas futuras

Aunque los resultados obtenidos son aceptables, en espesores de la unión elevados se observa que la resistencia máxima se conseguiría aplicando más potencia. Sería interesante hacer algún ensayo adicional con un equipo más potente para confirmarlo. También parece interesante mejorar la geometría de los electrodos, adaptándolos a la forma de las varillas a soldar con el fin de conseguir una mejor transferencia, de forma que se minimicen las pérdidas de potencia pudiendo utilizar toda la potencia puesta en juego en la ejecución de la soldadura. Algunos ensayos adicionales con electrodos mejorados podrían así mismo confirmar esta idea.

Dado que se obtienen buenos resultados con diferentes potencias y diferentes tiempos de soldadura, sería recomendable hacer un análisis de los diferentes consumos y costes variando estos dos parámetros. De esta forma se podrían elegir los parámetros más óptimos que permitieran reducir los costes de esta tarea.

A partir de este estudio quedan planteadas dos líneas de investigación de cara al futuro:

1. Avanzar en el desarrollo de nuevos utillajes e instalaciones que permitan automatizar el trabajo mediante la utilización de la soldadura por resistencia eléctrica para la fabricación de ferralla.
2. Desarrollar instalaciones portátiles, de tal forma que, en el caso de grandes obras, se pueda conformar la ferralla in situ, de esta forma se podrían obtener importantes ahorros en el transporte, pues lo que habría que acopiar en este caso serían las materias primas y no las estructuras de ferralla como se hace actualmente.

9. Bibliografía

1. Acersa hierros. www.acersahierros.com. Available at: <http://www.acersahierros.com/productos/ferralla/> [Accessed 27 Aug. 2018]. 2018.
2. SOMISA. <https://somisa.mx>. Available at: <https://somisa.mx/la-historia-de-la-soldadura/> [Accessed 27 Aug. 2018].
3. Universidad del País Vasco. www.ehu.es. Available at: http://www.ehu.es/manufacturing/docencia/1149_ca.pdf [Accessed 27 Aug. 2018].
4. Sam S, Sen BN, Tzan EP, Soon YL. Development of standard MIG welding procedure for cage welding at NSH, Singapore. *SEASI Q (South East Asia Iron Steel Institute)*. 2010;39(4):55–61.
5. Dolinšek B, Duhovnik J. Robotic assembly of rebar cages for beams and columns. *Autom Constr* [Internet]. 1998 Dec;8(2):195–207. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580598000831>
6. Datta R, Veeraraghavan R, Rohira KL. Weldability Characteristics of Torr and Corrosion-Resistant TMT Bars Using SMAW Process. *J Mater Eng Perform* [Internet]. 2002 Aug 1;11(4):369–75. Available from: <http://link.springer.com/10.1361/105994902770343881>
7. Yalcin C, Kaya O, Sinangil M. Seismic retrofitting of R/C columns having plain rebars using CFRP sheets for improved strength and ductility. *Constr Build Mater* [Internet]. 2008 Mar;22(3):295–307. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061806002637>
8. Chen Y, Yang Z min, Wang H min. Comprehensive Properties of 400 MPa Grade Corrosion-Resistant Rebar. *J Iron Steel Res Int*. 2012;19(12):48–52.
9. Colajanni P, La Mendola L, Recupero A. Experimental test results vs. analytical prediction of welded joint strength in hybrid steel trussed concrete beams (HSTCBs). *Eur J Environ Civ Eng*. 2013;17(8):742–59.
10. Feng P, Zhou Z, Tian Y, Ye L. Analysis on mechanical behavior of welding-overlap splices for mid-diameter steel bars. *Tumu Jianzhu yu Huanjing Gongcheng/Journal Civil, Archit Environ Eng*. 2014;36(1):25–32.
11. Dance of the rebars at Finger Beton | Tanz der Stäbe bei Finger Beton. *Betonwerk und Fertigteil-Technik/Concrete Plant and Precast Technology*. 2015;81(7):54–5.
12. Demarque R, Castro JA de, Xavier CR, Almeida DS da S, Marcelo C de J, Santos EP dos, et al. Estudo Numérico e Experimental da Evolução Microestrutural e das Propriedades de Juntas Soldadas de Vergalhões pelo Processo GMAW. *Soldag Inspeção* [Internet]. 2015 Dec;20(4):434–45. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242015000400434&lng=pt&tlng=pt
13. Moustafa T, Khalifa W, El-Koussy MR, Abd El-Reheem N. Optimizing the Welding Parameters of Reinforcing Steel Bars. *Arab J Sci Eng* [Internet]. 2016 May 31;41(5):1699–711. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s13369-015-1929-x>
14. Bautista A, Paredes EC, Alvarez SM, Velasco F. Welded, sandblasted, stainless

- steel corrugated bars in non-carbonated and carbonated mortars: A 9-year corrosion study. Corros Sci [Internet]. 2016 Jan;102:363–72. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0010938X15301281>
15. Vigas Mazo. Vigasmazo.com. Available at: <http://www.vigasmazo.com/ferralla.html> [Accessed 27 Aug. 2018]. 2018.



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANEXO I TABLAS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOR:

CARMEN MARTÍNEZ ALONSO

A continuación, se muestran los resultados tanto de las medidas tomadas de las soldaduras, como de los ensayos realizados; así como los resultados de la fuerza necesaria para el despegue.

En las tablas adjuntas en este apartado, aparecen celdas en blanco que se corresponden con las soldaduras que no llegaron a realizarse, al fallar la soldadura inmediatamente anterior, se da por hecho que la siguiente no va a ser factible tampoco. Aparecen también celdas en las que se incluyen interrogaciones “?”, esto significa que la soldadura si fue realizada, pero al ser uniones muy débiles, estas se rompieron antes de ser ensayadas.

1.1. Medidas de la soldadura

Las medidas obtenidas de las soldaduras se muestran en las tablas adjuntas a continuación.

En ellas se muestra la codificación de cada probeta y las medidas de las 6 uniones correspondientes a la codificación ($\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4, \Delta_5, \Delta_6$), además se adjunta el porcentaje de variación del espesor medio respecto al nominal y por último la medida de la soldadura, que es la diferencia entre la suma de los diámetros nominales ($A+B$) y la media de las medidas de las uniones (mm soldadura).

1.1.1. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=8mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	Δ ₁	Δ ₂	Δ ₃	Δ ₄	Δ ₅	Δ ₆	% Δ Thickness	mm soldadura
8	8	40	25	5	15,43	15,352	FULL	15,69	15,777	15,675	2,59%	0,42
8	8	50	25	5	15,697	15,202	15,412	15,399	15,564	15,268	3,60%	0,58
8	8	60	25	5	15,312	15,024	15,225	14,915	14,79	15,534	5,42%	0,87
8	8	70	25	5	14,182	14,514	14,902	14,437	14,432	14,647	9,26%	1,48
8	8	80	25	5	13,247	13,145	13,032	12,72	13,441	13,013	18,13%	2,90
8	8	40	35	5	15,744	15,353	15,558	15,576	15,591	15,559	2,73%	0,44
8	8	50	35	5	15,716	15,216	15,244	15,026	15,382	15,608	3,97%	0,63
8	8	60	35	5	15,132	15,034	15,032	14,281	14,469	14,382	7,99%	1,28
8	8	70	35	5	12,741	13,31	13,232	13,014	13,762	13,609	17,01%	2,72
8	8	80	35	5								
8	8	40	45	5	15,317	15,556	15,309	15,455	15,381	15,92	3,19%	0,51
8	8	50	45	5	15,036	15,633	15,088	15,315	15,16	15,328	4,63%	0,74
8	8	60	45	5	14,314	14,181	14,28	14,042	14,272	14,565	10,78%	1,72
8	8	70	45	5	11,959	10,055	12,108	11,831	11,649	FULL	28,00%	4,48
8	8	80	45	5								
8	8	40	25	6	15,158	15,355	14,972	15,263	15,063	15,186	5,21%	0,83
8	8	50	25	6	15,304	15,442	15,612	15,625	16,02	16,082	1,99%	0,32
8	8	60	25	6	15,124	14,976	15,173	14,854	15,123	15,23	5,75%	0,92
8	8	70	25	6	14,745	14,44	14,355	13,69	14,626	13,101	11,50%	1,84
8	8	80	25	6	12,219	12,056	12,956	13,127	13,133	13,214	20,10%	3,22
8	8	40	35	6	?	?	?	15,388	15,517	15,613	3,09%	0,49
8	8	50	35	6	14,923	14,928	15,281	14,922	14,904	14,841	6,46%	1,03
8	8	60	35	6	14,833	14,744	14,559	14,949	14,888	14,852	7,47%	1,20
8	8	70	35	6	11,792	12,162	12,55	12,994	13,256	12,938	21,15%	3,38
8	8	80	35	6								
8	8	40	45	6	15,701	15,389	15,215	15,289	15,54	15,791	3,20%	0,51
8	8	50	45	6	14,87	15,273	15,265	14,774	15,139	15,64	5,25%	0,84
8	8	60	45	6	13,545	13,898	13,706	13,867	13,836	13,79	13,91%	2,23
8	8	70	45	6								
8	8	80	45	6								
8	8	40	25	7	15,47	15,212	15,881	15,812	15,462	15,037	3,26%	0,52
8	8	50	25	7	14,944	15,066	14,786	15,097	15,077	14,967	6,32%	1,01
8	8	60	25	7	14,924	14,969	14,163	15,244	15,345	14,849	6,78%	1,08
8	8	70	25	7	14,131	14,375	14,739	14,009	14,185	14,101	10,90%	1,74
8	8	80	25	7	12,935	13,378	12,751	13,298	13,659	13,674	16,98%	2,72
8	8	40	35	7	15,665	15,721	15,627	15,561	15,811	15,799	1,89%	0,30
8	8	50	35	7	15,088	15,105	15,119	15,315	14,961	14,888	5,75%	0,92
8	8	60	35	7	14,595	14,272	14,648	14,288	14,248	13,985	10,38%	1,66
8	8	70	35	7	12,377	12,78	12,831	12,861	13,24	12,603	20,11%	3,22
8	8	80	35	7								
8	8	40	45	7	15,587	15,964	15,656	15,175	14,813	15,049	3,91%	0,63
8	8	50	45	7	15,001	15,143	15,055	14,353	14,636	14,674	7,44%	1,19
8	8	60	45	7	13,26	13,176	13,609	13,952	14,067	13,727	14,80%	2,37
8	8	70	45	7								
8	8	80	45	7								

Tabla 1. Resultados de las medidas de soldadura para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=8mm

1.1.2. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=10mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	Δ ₁	Δ ₂	Δ ₃	Δ ₄	Δ ₅	Δ ₆	% Δ Thickness	mm soldadura
8	10	40	29	5	17,725	17,486	17,841	17,556	18,505	?	0,99%	0,18
8	10	50	29	5	17,521	17,477	17,635	17,687	17,62	17,246	2,61%	0,47
8	10	60	29	5	16,588	16,685	16,495	16,99	16,907	16,932	6,85%	1,23
8	10	70	29	5	16,193	15,947	16,125	16,084	16,354	16,127	10,34%	1,86
8	10	80	29	5	15,041	15,289	14,512	15,073	15,332	14,941	16,49%	2,97
8	10	40	40	5	17,317	17,781	17,767	17,775	18,195	17,649	1,40%	0,25
8	10	50	40	5	18,085	17,06	17,178	17,043	17,267	17,89	3,22%	0,58
8	10	60	40	5	16,447	16,365	16,652	16,345	16,44	16,458	8,60%	1,55
8	10	70	40	5	15,47	15,07	14,955	15,057	14,992	15,184	15,99%	2,88
8	10	80	40	5	13,584	13,1	13,318	?	?	?	25,92%	4,67
8	10	40	51	5	17,793	17,398	17,444	17,182	17,327	17,692	2,93%	0,53
8	10	50	51	5	17,055	17,324	16,926	17,697	17,101	17,062	4,48%	0,81
8	10	60	51	5	15,557	16,05	16,009	16,404	16,043	16,456	10,63%	1,91
8	10	70	51	5	13,227	11,974	12,692	?	?	?	29,83%	5,37
8	10	80	51	5								
8	10	40	29	6	17,586	17,748	18,309	17,549	18,317	17,646	0,78%	0,14
8	10	50	29	6	18,223	17,853	17,487	16,938	17,324	17,491	2,49%	0,45
8	10	60	29	6	16,623	16,754	17,724	16,773	16,74	16,616	6,27%	1,13
8	10	70	29	6	16,363	16,374	15,855	16,182	16,142	16,253	10,03%	1,81
8	10	80	29	6	15,246	14,738	15,094	15,324	15,213	15,785	15,37%	2,77
8	10	40	40	6	18,184	18,049	17,313	17,419	?	?	1,44%	0,26
8	10	50	40	6	16,887	17,525	16,987	17,248	17,272	17,617	4,13%	0,74
8	10	60	40	6	16,468	16,865	16,552	16,446	16,529	16,38	8,11%	1,46
8	10	70	40	6	15,707	15,207	15,711	15,458	15,328	14,955	14,48%	2,61
8	10	80	40	6	12,844	13,641	?	?	?	?	26,43%	4,76
8	10	40	51	6	17,181	17,632	17,334	17,014	?	?	3,94%	0,71
8	10	50	51	6	16,829	17,577	17,002	17,012	17,317	17,22	4,67%	0,84
8	10	60	51	6	16,284	15,665	16,296	16,455	16,391	16,489	9,65%	1,74
8	10	70	51	6	13,726	14,142	13,735	13,445	14,22	13,17	23,67%	4,26
8	10	80	51	6								
8	10	40	29	7	17,781	17,281	17,454	17,944	17,833	?	1,90%	0,34
8	10	50	29	7	17,422	17,709	18,237	16,692	17,53	17,146	3,02%	0,54
8	10	60	29	7	16,761	16,493	16,528	17,087	17,451	17,058	6,13%	1,10
8	10	70	29	7	15,863	16,054	15,842	16,448	15,641	15,901	11,34%	2,04
8	10	80	29	7	15,509	15,058	16,075	15,067	15,097	14,76	15,22%	2,74
8	10	40	40	7	17,751	17,267	17,364	17,493	17,797	?	2,59%	0,47
8	10	50	40	7	16,735	17,698	16,834	17,261	16,77	17,257	5,04%	0,91
8	10	60	40	7	17,467	17,008	16,966	16,638	15,944	16,37	7,04%	1,27
8	10	70	40	7	15,298	15,352	15,012	15,414	15,311	15,331	15,08%	2,71
8	10	80	40	7	13,172	13,851	13,264	?	?	?	25,39%	4,57
8	10	40	51	7	17,199	17,506	17,244	16,78	17,162	17,115	4,62%	0,83
8	10	50	51	7	17,049	16,724	17,469	16,693	17,006	16,726	5,86%	1,06
8	10	60	51	7	16,124	16,504	16,041	15,985	16,072	16,038	10,40%	1,87
8	10	70	51	7	13,538	13,99	13,391	13,018	13,539	13,308	25,20%	4,54
8	10	80	51	7								

Tabla 1. Resultados de las medidas de soldadura para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=10mm

1.1.3. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	Δ ₁	Δ ₂	Δ ₃	Δ ₄	Δ ₅	Δ ₆	% Δ Thickness	mm soldadura
8	12	40	32	5	19,589	20,026	19,594	19,148	20,012	19,68	1,63%	0,33
8	12	50	32	5	19,249	19,116	19,821	19,195	19,696	19,432	2,91%	0,58
8	12	60	32	5	19,322	19,236	19,197	19,235	19,539	18,765	3,92%	0,78
8	12	70	32	5	16,982	18,49	17,424	17,819	17,808	18,413	10,89%	2,18
8	12	80	32	5	16,473	17,455	?	?	?	?	15,18%	3,04
8	12	40	44	5	19,903	19,911	19,934	19,986	19,555	19,164	1,29%	0,26
8	12	50	44	5	19,331	19,511	19,352	19,577	19,374	19,369	2,91%	0,58
8	12	60	44	5	18,683	18,77	18,743	18,469	18,999	19,109	6,02%	1,20
8	12	70	44	5	17,531	17,337	?	?	?	?	12,83%	2,57
8	12	80	44	5								
8	12	40	57	5	19,481	19,379	19,065	19,633	19,799	20,085	2,13%	0,43
8	12	50	57	5	19,115	19,403	19,093	19,115	19,401	19,67	3,50%	0,70
8	12	60	57	5	18,265	18,506	18,423	18,315	18,045	18,219	8,52%	1,70
8	12	70	57	5								
8	12	80	57	5								
8	12	40	32	6	?	19,42	?	?	?	?	2,90%	0,58
8	12	50	32	6	19,574	19,934	19,87	19,152	19,428	19,477	2,14%	0,43
8	12	60	32	6	18,932	18,701	19,128	18,843	18,803	18,916	5,56%	1,11
8	12	70	32	6	18,277	18,304	18,466	17,57	17,417	18,242	9,77%	1,95
8	12	80	32	6								
8	12	40	44	6	19,564	20,197	?	19,713	19,333	?	1,49%	0,30
8	12	50	44	6	19,401	19,204	19,486	19,146	19,152	19,359	3,54%	0,71
8	12	60	44	6	18,596	18,992	18,259	18,81	18,804	18,785	6,46%	1,29
8	12	70	44	6								
8	12	80	44	6								
8	12	40	57	6	19,347	19,461	19,875	19,41	19,567	19,349	2,49%	0,50
8	12	50	57	6	19,139	19,322	19,46	19,178	18,885	18,702	4,43%	0,89
8	12	60	57	6	18,124	18,409	18,558	18,536	18,347	17,888	8,45%	1,69
8	12	70	57	6								
8	12	80	57	6								
8	12	40	32	7	19,255	19,972	19,701	20,08	19,824	?	1,17%	0,23
8	12	50	32	7	19,093	18,995	19,082	19,955	19,555	19,326	3,33%	0,67
8	12	60	32	7	18,758	19,462	18,841	18,737	19,304	18,894	5,00%	1,00
8	12	70	32	7	17,898	18,246	18,271	17,995	18,228	18,027	9,45%	1,89
8	12	80	32	7	17,175	17,061	16,979	17,144	16,778	16,53	15,28%	3,06
8	12	40	44	7	19,765	19,779	19,691	19,555	19,739	19,618	1,54%	0,31
8	12	50	44	7	18,879	19,043	19,402	19,014	18,717	19,001	4,95%	0,99
8	12	60	44	7	18,319	18,388	18,901	19,328	19,761	18,988	5,26%	1,05
8	12	70	44	7	16,946	17,311	16,987	16,517	16,846	17,864	14,61%	2,92
8	12	80	44	7								
8	12	40	57	7	19,792	19,776	19,342	19,395	19,931	19,421	1,95%	0,39
8	12	50	57	7	19,219	19,151	18,831	19,656	19,37	18,885	4,07%	0,81
8	12	60	57	7	18,579	17,003	17,347	18,717	18,347	18,576	9,53%	1,91
8	12	70	57	7								
8	12	80	57	7								

Tabla 3. Resultados de las medidas de soldadura para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=12mm

1.1.4. Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	Δ ₁	Δ ₂	Δ ₃	Δ ₄	Δ ₅	Δ ₆	% Δ Thickness	mm soldadura
10	12	40	35	5	21,388	?	?	22,175	21,782	?	0,99%	0,22
10	12	50	35	5	22,201	21,642	22,245	21,575	21,792	21,928	0,47%	0,10
10	12	60	35	5	21,256	21,096	21,734	21,333	21,635	21,569	2,56%	0,56
10	12	70	35	5	20,661	20,751	20,81	20,61	20,624	20,645	5,98%	1,32
10	12	80	35	5	19,704	20,056	20,141	20,084	19,977	20,205	8,96%	1,97
10	12	40	49	5	21,812	?	21,155	21,383	22,202	22,301	1,04%	0,23
10	12	50	49	5	21,346	21,687	21,477	21,025	21,433	21,273	2,85%	0,63
10	12	60	49	5	20,775	20,637	21,1	20,314	20,806	21,017	5,57%	1,23
10	12	70	49	5	20,166	20,081	20,206	20,067	20,089	20,753	8,06%	1,77
10	12	80	49	5	19,187	19,671	19,58	19,556	19,613	19,578	11,22%	2,47
10	12	40	62	5	21,723	22,226	?	21,875	22,144	22,352	-0,29%	-0,06
10	12	50	62	5	22,117	21,777	21,783	20,919	21,714	21,125	1,94%	0,43
10	12	60	62	5	20,641	20,503	20,986	20,537	20,679	21,208	5,64%	1,24
10	12	70	62	5	20,154	19,851	19,753	20,211	20,023	20,01	9,09%	2,00
10	12	80	62	5	?	?	?	?	?	?		
10	12	40	35	6	21,302	21,601	21,859	21,757	21,476	21,518	1,88%	0,41
10	12	50	35	6	21,758	21,38	21,969	21,344	21,402	21,285	2,17%	0,48
10	12	60	35	6	21,606	21,473	21,5	20,768	20,93	20,958	3,61%	0,79
10	12	70	35	6	20,474	20,066	20,304	20,307	20,361	19,937	7,99%	1,76
10	12	80	35	6	19,784	20,006	19,884	20,24	20,537	19,811	8,89%	1,96
10	12	40	49	6	21,456	22,387	21,854	?	?	?	0,46%	0,10
10	12	50	49	6	21,64	22,022	22,052	20,887	21,587	21,01	2,12%	0,47
10	12	60	49	6	20,74	21,03	21,17	20,86	20,97	20,777	4,89%	1,08
10	12	70	49	6	19,715	20,138	20,592	19,988	19,983	20,073	8,72%	1,92
10	12	80	49	6	19,819	19,521	19,719	19,318	19,33	19,585	11,14%	2,45
10	12	40	62	6	21,611	22,25	?	?	?	?	0,32%	0,07
10	12	50	62	6	21,924	22,111	22,158	21,718	21,346	21,204	1,17%	0,26
10	12	60	62	6	20,98	20,797	21,002	20,906	20,575	20,665	5,36%	1,18
10	12	70	62	6	20,046	19,987	19,982	19,999	19,895	19,499	9,54%	2,10
10	12	80	62	6	?	?	?	?	?	?		
10	12	40	35	7	21,671	21,715	21,757	22,019	21,461	22,442	0,71%	0,16
10	12	50	35	7	20,589	21,256	21,671	21,08	21,558	21,619	3,20%	0,70
10	12	60	35	7	21,133	20,832	21,313	20,892	20,849	21,396	4,23%	0,93
10	12	70	35	7	20,526	20,989	20,63	20,294	20,553	20,349	6,56%	1,44
10	12	80	35	7	20,013	19,108	19,649	20,111	20,017	19,932	9,98%	2,20
10	12	40	49	7	21,241	21,972	21,44	21,618	21,487	21,143	2,35%	0,52
10	12	50	49	7	21,544	22,218	22,016	21,082	21,028	20,917	2,42%	0,53
10	12	60	49	7	20,933	21,091	21,206	20,749	20,794	21,379	4,43%	0,97
10	12	70	49	7	20,155	19,544	20,329	20,237	20,461	19,456	8,95%	1,97
10	12	80	49	7	?	?	?	?	?	?		
10	12	40	62	7	21,493	21,596	21,346	21,057	?	?	2,85%	0,63
10	12	50	62	7	21,631	21,509	21,366	21,303	21,467	21,457	2,48%	0,54
10	12	60	62	7	21,076	20,6	20,781	21,02	20,825	21,031	5,05%	1,11
10	12	70	62	7	19,619	19,662	19,484	20,006	20,519	19,853	9,74%	2,14
10	12	80	62	7	?	?	?	?	?	?		

Tabla 4. Resultados de las medidas de soldadura para Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=12mm

1.1.5. Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	Δ ₁	Δ ₂	Δ ₃	Δ ₄	Δ ₅	Δ ₆	% Δ Thickness	mm soldadura
12	12	40	38	5	23,457	24,785	24,889	24,812	24,283	?	-1,86%	-0,45
12	12	50	38	5	23,766	24,497	24,048	24,345	24,16	24,096	-0,63%	-0,15
12	12	60	38	5	23,001	23,403	23,479	22,675	23,313	?	3,44%	0,83
12	12	70	38	5	22,975	23,054	23,135	22,91	22,619	23,335	4,15%	1,00
12	12	80	38	5	22,782	22,411	22,923	22,074	22,356	22,446	6,26%	1,50
12	12	40	53	5	24,325	24,067	23,482	23,229	24,281	24,431	0,13%	0,03
12	12	50	53	5	23,669	24,244	23,42	23,415	23,666	23,582	1,39%	0,33
12	12	60	53	5	23,202	23,22	23,996	23,437	23,314	23,655	2,21%	0,53
12	12	70	53	5	22,365	22,933	23,072	22,691	22,925	22,501	5,22%	1,25
12	12	80	53	5	21,945	21,858	21,936	18,965	19,695	20,421	13,32%	3,20
12	12	40	68	5	24,028	23,658	23,288	23,642	23,418	23,417	1,77%	0,42
12	12	50	68	5	22,969	23,651	23,889	23,517	23,577	23,485	2,02%	0,49
12	12	60	68	5	22,907	23,119	23,333	23,05	22,659	23,363	3,87%	0,93
12	12	70	68	5	22,515	22,366	22,505	22,117	22,547	22,374	6,65%	1,60
12	12	80	68	5	20,774	21,339	20,999	21,079	21,39	21,191	11,96%	2,87
12	12	40	38	6	24,021	23,831	23,783	24,07	?	?	0,31%	0,07
12	12	50	38	6	23,651	23,338	23,814	23,892	24,128	24,277	0,63%	0,15
12	12	60	38	6	23,303	23,023	23,089	23,301	23,206	23,393	3,25%	0,78
12	12	70	38	6	23,476	23,279	22,861	23,016	22,66	22,774	4,12%	0,99
12	12	80	38	6	22,731	22,736	22,93	22,603	21,417	22,318	6,43%	1,54
12	12	40	53	6	23,625	23,638	23,559	?	?	?	1,64%	0,39
12	12	50	53	6	24,159	23,422	23,581	23,523	23,52	23,154	1,83%	0,44
12	12	60	53	6	22,67	22,695	22,993	23,111	23,247	22,891	4,44%	1,07
12	12	70	53	6	22,827	22,996	23,453	22,519	22,216	22,74	5,03%	1,21
12	12	80	53	6	22,004	21,666	22,125	21,557	21,387	21,407	9,62%	2,31
12	12	40	68	6	23,865	23,977	23,487	23,467	23,53	24,489	0,82%	0,20
12	12	50	68	6	23,271	23,579	23,342	24,375	23,573	23,252	1,81%	0,43
12	12	60	68	6	22,844	22,852	22,886	23,427	23,161	23,926	3,41%	0,82
12	12	70	68	6	22,68	22,679	22,064	22,472	22,64	22,723	6,07%	1,46
12	12	80	68	6	21,239	21,876	20,849	21,029	20,883	21,233	11,73%	2,82
12	12	40	38	7	23,645	24,681	23,546	23,435	23,96	?	0,61%	0,15
12	12	50	38	7	24,02	23,979	23,614	23,825	23,305	23,198	1,43%	0,34
12	12	60	38	7	23,47	23,603	23,659	23,462	22,892	22,815	2,85%	0,68
12	12	70	38	7	22,417	22,45	23,364	23,047	22,922	22,327	5,19%	1,25
12	12	80	38	7	22,018	21,893	22,591	23,106	22,518	22,587	6,45%	1,55
12	12	40	53	7	23,822	23,166	24,372	23,608	?	?	1,08%	0,26
12	12	50	53	7	22,945	22,976	23,185	22,676	22,932	23,58	3,96%	0,95
12	12	60	53	7	22,691	22,796	23,599	23,157	22,569	22,531	4,62%	1,11
12	12	70	53	7	22,289	22,94	22,334	22,534	22,769	22,563	5,95%	1,43
12	12	80	53	7	22,267	21,982	22,134	22,68	22,034	22,137	7,48%	1,79
12	12	40	68	7	23,105	23,541	?	?	?	?	2,82%	0,68
12	12	50	68	7	23,563	23,021	23,768	22,975	23,142	23,154	3,04%	0,73
12	12	60	68	7	23,382	22,928	22,985	22,71	22,514	22,868	4,59%	1,10
12	12	70	68	7	22,991	21,921	22,164	22,354	21,857	21,803	7,58%	1,82
12	12	80	68	7	21,437	21,26	21,505	21,06	21,272	21,033	11,41%	2,74

Tabla 5. Resultados de las medidas de soldadura para Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=12mm

1.1.6. Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	Δ ₁	Δ ₂	Δ ₃	Δ ₄	Δ ₅	Δ ₆	% Δ Thickness	mm soldadura
10	16	40	41	5	25,859	26,34	25,15	25,497	25,482	?	1,29%	0,33
10	16	50	41	5	25,398	25,388	24,965	26,572	25,559	26,541	1,01%	0,26
10	16	60	41	5	25,153	24,885	25,431	25,533	25,719	24,489	3,07%	0,80
10	16	70	41	5	24,367	24,667	24,784	24,31	24,322	24,692	5,68%	1,48
10	16	80	41	5	24,904	24,561	24,555	23,737	24,247	24,125	6,33%	1,65
10	16	40	57	5	25,79	26,396	25,509	25,764	24,728	?	1,39%	0,36
10	16	50	57	5	25,143	24,343	25,181	25,691	25,525	25,439	3,00%	0,78
10	16	60	57	5	25,493	25,413	25,746	25,846	25,791	25,968	1,12%	0,29
10	16	70	57	5	24,066	23,815	24,576	23,871	25,188	24,172	6,61%	1,72
10	16	80	57	5	23,951	23,394	23,721	23,874	23,583	24,33	8,43%	2,19
10	16	40	74	5	25,515	25,157	24,565	26,04	25,79	25,033	2,50%	0,65
10	16	50	74	5	25,264	25,654	25,776	25,303	25,421	24,983	2,31%	0,60
10	16	60	74	5	25,064	24,964	25,35	25,102	25,617	25,122	3,06%	0,80
10	16	70	74	5	24,101	25,038	24,655	25,06	24,852	24,791	4,81%	1,25
10	16	80	74	5	23,048	22,647	22,88	22,716	22,9	21,624	12,94%	3,36
10	16	40	41	6	25,928	25,667	25,732	?	?	?	0,86%	0,22
10	16	50	41	6	25,585	?	?	26,236	25,519	25,784	0,84%	0,22
10	16	60	41	6	25,272	25,672	25,475	24,778	24,391	25,684	3,03%	0,79
10	16	70	41	6	25,305	24,669	25,83	24,407	24,676	24,403	4,30%	1,12
10	16	80	41	6	25,461	24,575	23,749	24,434	24,276	24,003	6,09%	1,58
10	16	40	57	6	25,551	25,836	25,999	25,34	?	?	1,23%	0,32
10	16	50	57	6	25,245	25,283	25,338	25,377	25,985	25,036	2,39%	0,62
10	16	60	57	6	25,289	25,838	25,415	25,03	24,683	25,188	2,92%	0,76
10	16	70	57	6	24,869	25,539	24,538	24,353	24,309	24,805	4,86%	1,26
10	16	80	57	6	24,3	24,188	24,177	23,854	24,032	24,697	6,89%	1,79
10	16	40	74	6	25,35	26,131	?	25,85	25,453	?	1,17%	0,30
10	16	50	74	6	24,84	26,405	25,958	24,975	25,429	25,184	2,06%	0,53
10	16	60	74	6	24,094	25,413	25,191	24,351	24,88	24,844	4,63%	1,20
10	16	70	74	6	24,132	23,996	24,662	23,824	23,919	24,275	7,17%	1,87
10	16	80	74	6	22,851	22,978	22,699	22,962	22,457	22,993	12,22%	3,18
10	16	40	41	7	25,316	26,145	?	?	?	?	1,04%	0,27
10	16	50	41	7	25,461	25,141	25,553	25,741	25,438	?	2,05%	0,53
10	16	60	41	7	25,419	25,941	25,236	24,998	25,497	25,614	2,11%	0,55
10	16	70	41	7	25,248	24,973	24,721	24,378	24,4	24,401	5,05%	1,31
10	16	80	41	7	24,533	24,062	24,781	24,558	24,389	24,191	6,08%	1,58
10	16	40	57	7	25,819	25,383	25,972	?	?	?	1,06%	0,28
10	16	50	57	7	25,991	26,331	25,718	25,515	25,117	25,471	1,19%	0,31
10	16	60	57	7	25,748	25,798	25,678	25,458	24,802	25,274	2,08%	0,54
10	16	70	57	7	24,308	24,061	24,371	24,688	24,346	24,211	6,42%	1,67
10	16	80	57	7	24,237	23,786	23,182	24,302	23,768	23,578	8,43%	2,19
10	16	40	74	7	25,439	26,395	?	?	?	?	0,32%	0,08
10	16	50	74	7	25,668	25,691	25,413	25,635	25,653	25,427	1,61%	0,42
10	16	60	74	7	25,446	25,31	24,977	24,853	24,666	25,13	3,60%	0,94
10	16	70	74	7	24,067	24,396	23,723	23,813	24,21	24,255	7,39%	1,92
10	16	80	74	7	22,74	24,236	22,17	21,956	21,928	22,434	13,16%	3,42

Tabla 6. Resultados de las medidas de soldadura para Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=16mm

1.1.7. Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	Δ ₁	Δ ₂	Δ ₃	Δ ₄	Δ ₅	Δ ₆	% Δ Thickness	mm soldadura
12	16	40	44	5	27,95	?	?	27,264	27,499	?	1,53%	0,43
12	16	50	44	5	28,025	27,875	28,55	27,751	27,387	27,22	0,71%	0,20
12	16	60	44	5	27,183	27,132	27,213	27,839	27,827	27,305	2,08%	0,58
12	16	70	44	5	27,337	27,321	27,226	27,195	26,84	26,792	3,15%	0,88
12	16	80	44	5	27,083	26,455	26,998	26,689	26,417	26,247	4,83%	1,35
12	16	40	62	5	27,648	28,201	27,315	27,537	26,843	?	1,75%	0,49
12	16	50	62	5	28,398	28,157	27,103	28,082	27,22	27,225	1,08%	0,30
12	16	60	62	5	27,214	27,247	27,683	26,83	27,091	27,498	2,64%	0,74
12	16	70	62	5	27,584	26,977	27,745	26,982	26,528	26,228	3,55%	0,99
12	16	80	62	5	25,913	26,108	26,185	26,147	26,493	26,07	6,60%	1,85
12	16	40	79	5	28,593	?	?	28,312	?	?	-1,62%	-0,45
12	16	50	79	5	27,861	27,185	27,768	27,512	26,906	27,314	2,06%	0,58
12	16	60	79	5	27,456	27,612	27,644	26,532	26,77	27,316	2,78%	0,78
12	16	70	79	5	26,778	27,341	26,372	26,459	26,585	26,847	4,53%	1,27
12	16	80	79	5	25,355	25,533	26,063	26,007	26,233	26,371	7,40%	2,07
12	16	40	44	6	29,227	29,059	28,627	28,355	28,87	?	-2,96%	-0,83
12	16	50	44	6	27,817	27,221	28,447	28,101	27,95	28,151	0,19%	0,05
12	16	60	44	6	27,503	27,444	27,041	27,603	27,437	27,408	2,12%	0,59
12	16	70	44	6	26,652	26,979	27,94	26,926	26,67	26,714	3,64%	1,02
12	16	80	44	6	27,319	26,813	26,059	27,159	26,877	26,466	4,35%	1,22
12	16	40	62	6	27,873	27,735	27,675	27,529	27,269	28,032	1,12%	0,31
12	16	50	62	6	27,295	27,602	27,269	28,008	28,148	28,355	0,79%	0,22
12	16	60	62	6	27,54	27,192	27,296	27,098	27,199	27,456	2,51%	0,70
12	16	70	62	6	28,283	26,756	27,064	26,717	27,187	27,131	2,89%	0,81
12	16	80	62	6	26,019	25,917	25,711	26,517	26,167	27,34	6,15%	1,72
12	16	40	79	6	29,144	28,575	27,713	27,835	27,964	?	-0,88%	-0,25
12	16	50	79	6	27,509	27,607	?	27,472	27,716	27,581	1,51%	0,42
12	16	60	79	6	27,65	27,125	27,057	26,747	26,906	27,206	3,16%	0,88
12	16	70	79	6	26,522	26,985	27,043	27,224	26,135	26,565	4,48%	1,25
12	16	80	79	6	26,801	25,794	25,446	26,163	26,616	25,78	6,79%	1,90
12	16	40	44	7	28,174	?	?	28,303	?	?	-0,85%	-0,24
12	16	50	44	7	27,425	27,952	?	28,299	28,145	?	0,16%	0,04
12	16	60	44	7	26,465	27,095	27,114	28,302	27,068	27,928	2,40%	0,67
12	16	70	44	7	27,82	26,965	27,309	26,605	26,719	26,58	3,57%	1,00
12	16	80	44	7	26,265	26,815	26,645	26,285	27,308	28,127	3,90%	1,09
12	16	40	62	7	28,018	?	?	28,454	?	?	-0,84%	-0,24
12	16	50	62	7	27,409	26,796	26,796	28,249	28,681	28,68	0,83%	0,23
12	16	60	62	7	27,328	26,557	26,794	27,54	26,842	27,192	3,42%	0,96
12	16	70	62	7	27,339	27,268	26,882	26,275	27,133	27,534	3,31%	0,93
12	16	80	62	7	27,083	26,753	26,278	26,425	26,277	25,904	5,52%	1,55
12	16	40	79	7	?	?	?	?	?	?		
12	16	50	79	7	27,844	27,618	26,853	28,052	27,756	27,124	1,64%	0,46
12	16	60	79	7	26,641	26,759	27,269	27,067	27,596	27,777	2,91%	0,82
12	16	70	79	7	26,828	25,887	26,464	26,78	26,744	26,565	5,20%	1,46
12	16	80	79	7	25,758	25,523	26,711	25,503	25,747	25,825	7,70%	2,16

Tabla 7. Resultados de las medidas de soldadura para Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=16mm

1.1.8. Diámetro_A=16mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	Δ ₁	Δ ₂	Δ ₃	Δ ₄	Δ ₅	Δ ₆	% Δ Thickness	mm soldadura
16	16	40	50	5	?	?	?	?	?	?		
16	16	50	50	5	33,351	32,832	31,938	32,36	32,869	31,973	-1,73%	-0,55
16	16	60	50	5	32,068	32,087	32,113	32,329	31,408	32,082	-0,05%	-0,01
16	16	70	50	5	31,183	31,698	31,375	31,469	30,73	31,975	1,86%	0,60
16	16	80	50	5	32,045	31,24	30,877	30,947	31,346	30,814	2,46%	0,79
16	16	40	70	5	?	?	?	?	?	?		
16	16	50	70	5	30,909	31,628	32,368	32,215	31,916	31,831	0,59%	0,19
16	16	60	70	5	32,303	31,957	32,55	31,55	31,082	31,532	0,53%	0,17
16	16	70	70	5	31,389	31,261	31,309	31,161	32,429	31,81	1,38%	0,44
16	16	80	70	5	31,274	30,981	30,765	31,49	30,314	30,771	3,34%	1,07
16	16	40	90	5	?	?	?	?	?	?		
16	16	50	90	5	31,327	32,066	32,099	32,477	31,805	31,068	0,60%	0,19
16	16	60	90	5	32,242	31,424	31,802	30,948	30,686	32,661	1,17%	0,37
16	16	70	90	5	30,458	30,815	31,618	31,226	31,271	30,863	2,99%	0,96
16	16	80	90	5	30,455	30,69	30,153	30,872	30,531	30,374	4,65%	1,49
16	16	40	50	6	?	?	?	?	?	?		
16	16	50	50	6	32,167	31,272	31,509	31,619	32,074	32,086	0,66%	0,21
16	16	60	50	6	31,389	32,102	32,417	32,869	32,284	32,535	-0,83%	-0,27
16	16	70	50	6	31,801	32,82	31,918	31,498	31,361	31,697	0,47%	0,15
16	16	80	50	6	30,404	30,326	30,461	31,201	30,755	31,735	3,71%	1,19
16	16	40	70	6	?	?	?	?	?	?		
16	16	50	70	6	31,69	31,928	29,853	32,594	32,112	32,352	0,77%	0,25
16	16	60	70	6	32,515	32,693	32,954	32,753	32,454	32,26	-1,89%	-0,60
16	16	70	70	6	31,082	31,639	31,337	31,569	31,99	30,075	2,24%	0,72
16	16	80	70	6	31,829	30,319	29,992	31,709	30,827	31,679	2,94%	0,94
16	16	40	90	6	?	?	?	?	?	?		
16	16	50	90	6	31,724	31,631	31,759	31,339	31,75	32,362	0,75%	0,24
16	16	60	90	6	30,815	31,426	30,956	32,48	30,805	30,076	2,83%	0,91
16	16	70	90	6	31,444	30,251	31,569	31,237	31,631	31,595	2,23%	0,71
16	16	80	90	6	30,945	30,17	31,136	29,793	30,359	30,197	4,90%	1,57
16	16	40	50	7	?	?	?	?	?	?		
16	16	50	50	7	31,303	32,492	32,841	31,742	33,363	31,114	-0,45%	-0,14
16	16	60	50	7	30,725	31,624	32,568	32,533	32,327	30,88	0,70%	0,22
16	16	70	50	7	30,193	30,817	30,381	30,634	31,956	31,709	3,29%	1,05
16	16	80	50	7	31,45	30,837	30,802	32,548	31,212	30,316	2,52%	0,81
16	16	40	70	7	?	?	?	?	?	?		
16	16	50	70	7	32,455	32,32	30,958	31,281	32,424	31,906	0,34%	0,11
16	16	60	70	7	31,599	31,384	31,424	31,209	32,278	31,633	1,29%	0,41
16	16	70	70	7	31,238	30,743	30,889	31,15	30,259	31,838	3,06%	0,98
16	16	80	70	7	31,243	30,725	30,496	30,341	30,038	30,751	4,38%	1,40
16	16	40	90	7	?	?	?	?	?	?		
16	16	50	90	7	32,307	32,24	31,83	31,476	31,726	31,747	0,35%	0,11
16	16	60	90	7	32,692	32,11	30,819	30,68	31,994	31,639	1,08%	0,34
16	16	70	90	7	31,509	31,168	30,58	30,824	31,002	30,989	3,09%	0,99
16	16	80	90	7	30,397	29,825	29,834	30,194	30,292	29,739	6,10%	1,95

Tabla 8. Resultados de las medidas de soldadura para Diámetro_A=16mm, Diámetro_B=16mm

1.2. Ensayo a cizalladura

Con ayuda de la máquina para ensayos de tracción Servosis ME-420/20 y un utillaje que facilita la sujeción de la probeta, se ensayan a cizalladura cada una de las uniones soldadas. Este ensayo se realiza manteniendo fija la varilla de Diámetro A y fijando la varilla de Diámetro B a la mordaza de la máquina; de modo que traccione hasta producirse el despegue. Los resultados obtenidos de dichos ensayos se muestran codificados en las tablas adjuntas a continuación. Unidades en kg.

1.2.1. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=8mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	τ ₁	τ ₂	τ ₃
8	8	40	25	5	FULL	27	43
8	8	40	35	5	50	119	26
8	8	40	45	5	45	42	14
8	8	50	25	5	449	128	304
8	8	50	35	5	350	465	207
8	8	50	45	5	339	411	288
8	8	60	25	5	400	430	516
8	8	60	35	5	1187	1106	1322
8	8	60	45	5	694	735	1202
8	8	70	25	5	733	838	861
8	8	70	35	5	1430	1493	1199
8	8	70	45	5	FULL	1287	1673
8	8	80	25	5	1270	1156	1349
8	8	80	35	5			
8	8	80	45	5			
8	8	40	25	6	79	25	11
8	8	40	35	6	50	38	36
8	8	40	45	6	11	24	71
8	8	50	25	6	643	362	436
8	8	50	35	6	237	143	56
8	8	50	45	6	625	1060	481
8	8	60	25	6	759	932	949
8	8	60	35	6	699	1056	753
8	8	60	45	6	1055	999	1071
8	8	70	25	6	1279	707	895
8	8	70	35	6	1136	1127	1135
8	8	70	45	6			
8	8	80	25	6	1527	1337	1362
8	8	80	35	6			
8	8	80	45	6			
8	8	40	25	7	35	78	40
8	8	40	35	7	19	29	55
8	8	40	45	7	44	31	36
8	8	50	25	7	19	96	56
8	8	50	35	7	182	150	96
8	8	50	45	7	354	163	219
8	8	60	25	7	598	397	338
8	8	60	35	7	690	423	945
8	8	60	45	7	1244	1436	1147
8	8	70	25	7	926	726	1122
8	8	70	35	7	1717	1244	1182
8	8	70	45	7			
8	8	80	25	7	1280	1514	1090
8	8	80	35	7			
8	8	80	45	7			

Tabla 9. Resultados ensayo a cizalladura para Diámetro_A= 8mm, Diámetro_B=8mm

1.2.2. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=10mm

A (φ)	B (φ)	I (%)	t (%)	P (bar)	τ ₁	τ ₂	τ ₃
8	10	40	29	5	21	31	116
8	10	40	40	5	50	62	111
8	10	40	51	5	65	26	63
8	10	50	29	5	128	402	163
8	10	50	40	5	704	486	568
8	10	50	51	5	551	496	533
8	10	60	29	5	1160	662	1123
8	10	60	40	5	1207	1311	887
8	10	60	51	5	1334	1391	1206
8	10	70	29	5	1413	1254	1114
8	10	70	40	5	1296	1301	1424
8	10	70	51	5	619	578	524
8	10	80	29	5	1508	1463	1427
8	10	80	40	5	861	993	1647
8	10	80	51	5			
8	10	40	29	6	21	140	103
8	10	40	40	6	51	72	60
8	10	40	51	6	163	101	61
8	10	50	29	6	263	120	49
8	10	50	40	6	242	155	461
8	10	50	51	6	290	242	317
8	10	60	29	6	790	337	197
8	10	60	40	6	910	812	1012
8	10	60	51	6	1452	1278	1292
8	10	70	29	6	1202	1189	1395
8	10	70	40	6	1151	1028	1345
8	10	70	51	6	1372	1452	993
8	10	80	29	6	1350	1164	1453
8	10	80	40	6	562	923	445
8	10	80	51	6			
8	10	40	29	7	?	?	?
8	10	40	40	7	123	84	24
8	10	40	51	7	145	146	144
8	10	50	29	7	307	235	623
8	10	50	40	7	76	263	176
8	10	50	51	7	333	385	363
8	10	60	29	7	885	410	635
8	10	60	40	7	1422	983	1354
8	10	60	51	7	1432	1640	1566
8	10	70	29	7	1116	903	1490
8	10	70	40	7	1903	1411	1737
8	10	70	51	7	1131	1390	607
8	10	80	29	7	1621	1474	1646
8	10	80	40	7	1531	692	896
8	10	80	51	7			

Tabla 10. Resultados ensayo a cizalladura para Diámetro_A= 8mm, Diámetro_B=10mm

1.2.3. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	τ ₁	τ ₂	τ ₃
8	12	40	32	5	16	101	14
8	12	40	44	5	18	35	271
8	12	40	57	5	121	69	74
8	12	50	32	5	328	275	176
8	12	50	44	5	858	369	340
8	12	50	57	5	421	110	923
8	12	60	32	5	249	828	848
8	12	60	44	5	887	1218	1129
8	12	60	57	5	526	1199	1279
8	12	70	32	5	1316	711	1321
8	12	70	44	5	892	909	?
8	12	70	57	5			
8	12	80	32	5	1531	1392	?
8	12	80	44	5			
8	12	80	57	5			
8	12	40	32	6	?	?	?
8	12	40	44	6	?	?	?
8	12	40	57	6	81	192	131
8	12	50	32	6	106	336	391
8	12	50	44	6	108	67	119
8	12	50	57	6	238	386	330
8	12	60	32	6	471	813	406
8	12	60	44	6	1145	690	932
8	12	60	57	6	1202	1002	979
8	12	70	32	6	808	846	844
8	12	70	44	6			
8	12	70	57	6			
8	12	80	32	6			
8	12	80	44	6			
8	12	80	57	6			
8	12	40	32	7	30	21	62
8	12	40	44	7	21	36	31
8	12	40	57	7	17	75	?
8	12	50	32	7	408	95	?
8	12	50	44	7	66	207	244
8	12	50	57	7	60	62	450
8	12	60	32	7	1044	583	838
8	12	60	44	7	1368	1544	1306
8	12	60	57	7	1461	531	1255
8	12	70	32	7	1357	1590	1798
8	12	70	44	7	1408	1656	1523
8	12	70	57	7			
8	12	80	32	7	1536	1404	1479
8	12	80	44	7			
8	12	80	57	7			

Tabla 11. Resultados ensayo a cizalladura para Diámetro_A= 8mm, Diámetro_B=12mm

1.2.4. Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	τ ₁	τ ₂	τ ₃
10	12	40	35	5	60	?	?
10	12	40	49	5	195	101	?
10	12	40	62	5	79	37	?
10	12	50	35	5	120	80	343
10	12	50	49	5	135	91	121
10	12	50	62	5	351	179	133
10	12	60	35	5	919	604	852
10	12	60	49	5	1087	788	697
10	12	60	62	5	1589	1437	2064
10	12	70	35	5	1168	612	1145
10	12	70	49	5	2446	1433	2045
10	12	70	62	5	1765	1563	2258
10	12	80	35	5	2067	1216	2315
10	12	80	49	5	2672	2539	2875
10	12	80	62	5	?	?	?
10	12	40	35	6	36	43	50
10	12	40	49	6	82	?	?
10	12	40	62	6	50	?	?
10	12	50	35	6	246	122	79
10	12	50	49	6	105	87	114
10	12	50	62	6	376	68	?
10	12	60	35	6	562	430	492
10	12	60	49	6	963	441	705
10	12	60	62	6	1035	446	777
10	12	70	35	6	719	806	982
10	12	70	49	6	1541	1561	1988
10	12	70	62	6	1547	2304	1868
10	12	80	35	6	1534	437	1453
10	12	80	49	6	2002	2509	2510
10	12	80	62	6	?	?	?
10	12	40	35	7	35	52	?
10	12	40	49	7	28	60	31
10	12	40	62	7	68	50	?
10	12	50	35	7	47	155	128
10	12	50	49	7	125	129	178
10	12	50	62	7	163	152	309
10	12	60	35	7	435	556	541
10	12	60	49	7	787	977	745
10	12	60	62	7	882	883	1327
10	12	70	35	7	866	653	1698
10	12	70	49	7	1867	1275	1186
10	12	70	62	7	1954	1360	2148
10	12	80	35	7	1633	893	1778
10	12	80	49	7	?	?	?
10	12	80	62	7	?	?	?

Tabla 12. Resultados ensayo a cizalladura para Diámetro_A= 10mm, Diámetro_B=12mm

1.2.5. Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	τ ₁	τ ₂	τ ₃
12	12	40	38	5	72	?	?
12	12	40	53	5	27	?	?
12	12	40	68	5	168	?	
12	12	50	38	5	263	559	?
12	12	50	53	5	339	224	160
12	12	50	68	5	671	320	217
12	12	60	38	5	1082	715	188
12	12	60	53	5	475	332	759
12	12	60	68	5	1350	1278	639
12	12	70	38	5	1231	727	925
12	12	70	53	5	1761	1345	710
12	12	70	68	5	2087	2466	1160
12	12	80	38	5	1303	1939	1764
12	12	80	53	5	1445	2425	1972
12	12	80	68	5	2677	3128	2763
12	12	40	38	6	31	150	40
12	12	40	53	6	41	37	?
12	12	40	68	6	43	41	39
12	12	50	38	6	45	69	182
12	12	50	53	6	116	105	112
12	12	50	68	6	149	135	128
12	12	60	38	6	499	420	432
12	12	60	53	6	508	523	1058
12	12	60	68	6	602	971	1231
12	12	70	38	6	1070	1183	1157
12	12	70	53	6	1421	1894	1227
12	12	70	68	6	2038	2127	2194
12	12	80	38	6	1328	1269	1544
12	12	80	53	6	1850	2090	1754
12	12	80	68	6	2329	2431	2149
12	12	40	38	7	108	25	?
12	12	40	53	7	?	?	?
12	12	40	68	7	102	?	?
12	12	50	38	7	179	114	63
12	12	50	53	7	85	121	194
12	12	50	68	7	305	197	181
12	12	60	38	7	1035	707	1176
12	12	60	53	7	1032	770	628
12	12	60	68	7	1100	1280	1305
12	12	70	38	7	504	521	576
12	12	70	53	7	1913	1430	1373
12	12	70	68	7	1641	2049	2067
12	12	80	38	7	1262	871	1148
12	12	80	53	7	2928	1693	1482
12	12	80	68	7	1240	3011	2863

Tabla 13. Resultados ensayo a cizalladura para Diámetro_A= 12mm, Diámetro_B=12mm

1.2.6. Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	τ ₁	τ ₂	τ ₃
10	16	40	41	5	27	40	?
10	16	40	57	5	82	?	?
10	16	40	74	5	22	40	59
10	16	50	41	5	80	57	202
10	16	50	57	5	86	208	193
10	16	50	74	5	109	166	135
10	16	60	41	5	616	762	126
10	16	60	57	5	1170	560	1609
10	16	60	74	5	655	954	213
10	16	70	41	5	947	538	858
10	16	70	57	5	1318	1545	1245
10	16	70	74	5	1370	2264	1695
10	16	80	41	5	1048	1830	874
10	16	80	57	5	1999	1893	1872
10	16	80	74	5	2715	1530	2900
10	16	40	41	6	76	15	?
10	16	40	57	6	109	?	?
10	16	40	74	6	52	48	?
10	16	50	41	6	35	?	?
10	16	50	57	6	172	448	?
10	16	50	74	6	69	111	43
10	16	60	41	6	620	679	501
10	16	60	57	6	591	1352	746
10	16	60	74	6	913	339	320
10	16	70	41	6	1213	1077	711
10	16	70	57	6	592	806	979
10	16	70	74	6	1183	1204	1438
10	16	80	41	6	1088	2008	925
10	16	80	57	6	1843	2662	2020
10	16	80	74	6	1257	2409	1622
10	16	40	41	7	?	?	?
10	16	40	57	7	39	21	?
10	16	40	74	7	31	?	?
10	16	50	41	7	37	60	?
10	16	50	57	7	76	76	171
10	16	50	74	7	135	34	?
10	16	60	41	7	426	527	528
10	16	60	57	7	501	651	282
10	16	60	74	7	578	448	1001
10	16	70	41	7	954	1551	1594
10	16	70	57	7	773	1325	1450
10	16	70	74	7	2394	1873	1983
10	16	80	41	7	2574	913	1892
10	16	80	57	7	2231	1492	1932
10	16	80	74	7	2531	1078	2251

Tabla 14. Resultados ensayo a cizalladura para Diámetro_A= 10mm, Diámetro_B=16mm

1.2.7. Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	τ ₁	τ ₂	τ ₃
12	16	40	44	5	53	?	?
12	16	40	62	5	11	46	57
12	16	40	79	5	88	?	?
12	16	50	44	5	95	50	308
12	16	50	62	5	69	195	48
12	16	50	79	5	82	204	146
12	16	60	44	5	194	221	320
12	16	60	62	5	412	287	?
12	16	60	79	5	475	563	305
12	16	70	44	5	595	987	666
12	16	70	62	5	1239	699	1045
12	16	70	79	5	1354	2057	2165
12	16	80	44	5	824	1461	1381
12	16	80	62	5	1971	1264	1391
12	16	80	79	5	2338	2195	2187
12	16	40	44	6	31	40	39
12	16	40	62	6	15	34	42
12	16	40	79	6	41	69	?
12	16	50	44	6	123	29	89
12	16	50	62	6	101	91	97
12	16	50	79	6	202	193	?
12	16	60	44	6	295	420	140
12	16	60	62	6	505	610	378
12	16	60	79	6	905	721	977
12	16	70	44	6	848	959	635
12	16	70	62	6	1424	546	1192
12	16	70	79	6	1078	1109	1435
12	16	80	44	6	750	945	853
12	16	80	62	6	2203	1672	1633
12	16	80	79	6	1484	1261	2484
12	16	40	44	7	37	?	?
12	16	40	62	7	14	?	?
12	16	40	79	7	?	?	?
12	16	50	44	7	76	111	?
12	16	50	62	7	72	56	65
12	16	50	79	7	66	146	82
12	16	60	44	7	211	260	446
12	16	60	62	7	299	216	562
12	16	60	79	7	180	90	293
12	16	70	44	7	412	628	484
12	16	70	62	7	586	1361	660
12	16	70	79	7	1325	978	1543
12	16	80	44	7	1109	588	1444
12	16	80	62	7	1666	1150	1620
12	16	80	79	7	1894	1814	1314

Tabla 15. Resultados ensayo a cizalladura para Diámetro_A= 12mm, Diámetro_B=16mm

1.2.8. Diámetro_A=16mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	τ ₁	τ ₂	τ ₃
16	16	40	50	5	?	?	?
16	16	40	70	5	?	?	?
16	16	40	90	5	?	?	?
16	16	50	50	5	43	59	34
16	16	50	70	5	104	129	117
16	16	50	90	5	204	112	43
16	16	60	50	5	126	228	269
16	16	60	70	5	224	228	281
16	16	60	90	5	310	303	344
16	16	70	50	5	408	614	410
16	16	70	70	5	665	537	424
16	16	70	90	5	1022	590	1129
16	16	80	50	5	688	714	1778
16	16	80	70	5	503	1029	949
16	16	80	90	5	1305	1695	2349
16	16	40	50	6	?	?	?
16	16	40	70	6	?	?	?
16	16	40	90	6	?	?	?
16	16	50	50	6	108	62	143
16	16	50	70	6	82	130	101
16	16	50	90	6	48	196	89
16	16	60	50	6	211	287	449
16	16	60	70	6	232	230	116
16	16	60	90	6	452	391	616
16	16	70	50	6	280	217	383
16	16	70	70	6	754	584	634
16	16	70	90	6	433	1393	745
16	16	80	50	6	749	996	1025
16	16	80	70	6	713	873	848
16	16	80	90	6	2265	1837	?
16	16	40	50	7	?	?	?
16	16	40	70	7	?	?	?
16	16	40	90	7	?	?	?
16	16	50	50	7	119	134	105
16	16	50	70	7	101	28	117
16	16	50	90	7	85	69	131
16	16	60	50	7	328	179	148
16	16	60	70	7	620	301	404
16	16	60	90	7	268	595	208
16	16	70	50	7	327	545	380
16	16	70	70	7	723	346	?
16	16	70	90	7	420	1646	624
16	16	80	50	7	689	1379	1176
16	16	80	70	7	657	663	916
16	16	80	90	7	1691	684	1331

Tabla 16. Resultados ensayo a cizalladura para Diámetro_A= 16mm, Diámetro_B=16mm

1.3. Ensayo a tracción

Al igual que para el ensayo a cizalladura, en este ensayo se utiliza también la máquina para ensayos de tracción Servosis ME-420/20, además de dos utillajes que ayudan a mantener la probeta en la posición deseada para el ensayo. Nuevamente se fija la varilla de Diámetro A, y se tracciona tirando desde la varilla de Diámetro B, esta vez en dirección ortogonal al ensayo anterior, hasta que se produce el despegue.

Los resultados obtenidos de dicho ensayo se muestran codificados en las tablas mostradas a continuación.

1.3.1. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=8mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
8	8	40	25	5	241	187	220
8	8	40	35	5	127	105	142
8	8	40	45	5	230	152	191
8	8	50	25	5	510	439	194
8	8	50	35	5	330	197	389
8	8	50	45	5	462	610	417
8	8	60	25	5	552	655	533
8	8	60	35	5	636	719	748
8	8	60	45	5	632	800	835
8	8	70	25	5	566	731	478
8	8	70	35	5	939	774	761
8	8	70	45	5	468	545	774
8	8	80	25	5	684	616	690
8	8	80	35	5			
8	8	80	45	5			
8	8	40	25	6	127	68	229
8	8	40	35	6	86	196	111
8	8	40	45	6	185	89	195
8	8	50	25	6	139	278	214
8	8	50	35	6	265	590	163
8	8	50	45	6	484	606	301
8	8	60	25	6	555	398	413
8	8	60	35	6	687	834	562
8	8	60	45	6	729	800	578
8	8	70	25	6	590	722	584
8	8	70	35	6	959	681	892
8	8	70	45	6			
8	8	80	25	6	746	809	958
8	8	80	35	6			
8	8	80	45	6			
8	8	40	25	7	355	161	?
8	8	40	35	7	149	44	147
8	8	40	45	7	90	56	127
8	8	50	25	7	267	78	253
8	8	50	35	7	141	190	288
8	8	50	45	7	188	345	234
8	8	60	25	7	584	597	681
8	8	60	35	7	505	735	603
8	8	60	45	7	668	701	726
8	8	70	25	7	962	690	693
8	8	70	35	7	665	852	847
8	8	70	45	7			
8	8	80	25	7	873	718	1048
8	8	80	35	7			
8	8	80	45	7			

Tabla 17. Resultados ensayo a tracción para Diámetro_A= 8mm, Diámetro_B=8mm

1.3.2. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=10mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
8	10	40	29	5	209	92	
8	10	40	40	5	236	145	
8	10	40	51	5	145	242	89
8	10	50	29	5	248	329	531
8	10	50	40	5	558	456	164
8	10	50	51	5	396	417	564
8	10	60	29	5	697	644	584
8	10	60	40	5	496	466	526
8	10	60	51	5	529	579	587
8	10	70	29	5	600	582	727
8	10	70	40	5	584	586	964
8	10	70	51	5			
8	10	80	29	5	768	723	610
8	10	80	40	5			
8	10	80	51	5			
8	10	40	29	6	172	224	246
8	10	40	40	6	127		
8	10	40	51	6	84		
8	10	50	29	6	517	278	307
8	10	50	40	6	394	373	229
8	10	50	51	6	215	199	217
8	10	60	29	6	462	604	482
8	10	60	40	6	842	498	694
8	10	60	51	6	593	623	497
8	10	70	29	6	572	789	587
8	10	70	40	6	640	683	501
8	10	70	51	6	501	533	502
8	10	80	29	6	527	735	632
8	10	80	40	6			
8	10	80	51	6			
8	10	40	29	7	76	96	
8	10	40	40	7	110	112	
8	10	40	51	7	142	116	102
8	10	50	29	7	133	266	385
8	10	50	40	7	349	283	443
8	10	50	51	7	206	112	230
8	10	60	29	7	487	613	472
8	10	60	40	7	640	503	630
8	10	60	51	7	805	632	636
8	10	70	29	7	566	813	722
8	10	70	40	7	815	851	870
8	10	70	51	7	472	578	371
8	10	80	29	7	559	608	622
8	10	80	40	7			
8	10	80	51	7			

Tabla 18. Resultados ensayo a tracción para Diámetro_A= 8mm, Diámetro_B=10mm

1.3.3. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
8	12	40	32	5	113	72	255
8	12	40	44	5	346	314	135
8	12	40	57	5	124	361	140
8	12	50	32	5	879	354	130
8	12	50	44	5	510	692	781
8	12	50	57	5	323	765	219
8	12	60	32	5	532	623	700
8	12	60	44	5	729	677	631
8	12	60	57	5	597	568	921
8	12	70	32	5	165	855	616
8	12	70	44	5			
8	12	70	57	5			
8	12	80	32	5			
8	12	80	44	5			
8	12	80	57	5			
8	12	40	32	6	143		
8	12	40	44	6	297	143	
8	12	40	57	6	432	107	186
8	12	50	32	6	140	169	
8	12	50	44	6	272	246	378
8	12	50	57	6	430	212	155
8	12	60	32	6	649	861	557
8	12	60	44	6	464	445	1060
8	12	60	57	6	817	697	561
8	12	70	32	6	923	884	546
8	12	70	44	6			
8	12	70	57	6			
8	12	80	32	6			
8	12	80	44	6			
8	12	80	57	6			
8	12	40	32	7	139	92	
8	12	40	44	7	59	219	232
8	12	40	57	7	254	111	
8	12	50	32	7	269	168	304
8	12	50	44	7	156	277	147
8	12	50	57	7	375	471	547
8	12	60	32	7	363	616	822
8	12	60	44	7	1252	1125	1090
8	12	60	57	7	783	851	620
8	12	70	32	7	947	919	926
8	12	70	44	7	995	823	768
8	12	70	57	7			
8	12	80	32	7	728	896	769
8	12	80	44	7			
8	12	80	57	7			

Tabla 19. Resultados ensayo a tracción para Diámetro_A= 8mm, Diámetro_B=12mm

1.3.4. Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
10	12	40	35	5	220	140	
10	12	40	49	5	74	217	242
10	12	40	62	5	75	117	204
10	12	50	35	5	386	209	410
10	12	50	49	5	355	330	818
10	12	50	62	5	429	459	295
10	12	60	35	5	997	570	630
10	12	60	49	5	936	1132	645
10	12	60	62	5	986	686	596
10	12	70	35	5	612	715	702
10	12	70	49	5	1468	1264	903
10	12	70	62	5	1489	1678	1424
10	12	80	35	5	958	1361	1154
10	12	80	49	5	1343	1997	1453
10	12	80	62	5			
10	12	40	35	6	76	114	190
10	12	40	49	6	82	95	
10	12	40	62	6	278		
10	12	50	35	6	224	187	262
10	12	50	49	6	256	482	241
10	12	50	62	6	195	144	409
10	12	60	35	6	535	581	574
10	12	60	49	6	558	579	843
10	12	60	62	6	949	1232	1106
10	12	70	35	6	606	869	587
10	12	70	49	6	1071	1334	1390
10	12	70	62	6	1598	1831	1971
10	12	80	35	6	1451	1016	1022
10	12	80	49	6	1789	1672	2263
10	12	80	62	6			
10	12	40	35	7	112	70	103
10	12	40	49	7	236	230	83
10	12	40	62	7	86	178	462
10	12	50	35	7	212	187	
10	12	50	49	7	208	147	370
10	12	50	62	7	478	329	539
10	12	60	35	7	557	536	703
10	12	60	49	7	850	889	793
10	12	60	62	7	944	1080	746
10	12	70	35	7	1006	1064	1103
10	12	70	49	7	1150	1182	1028
10	12	70	62	7	1398	1409	1420
10	12	80	35	7	1086	895	1418
10	12	80	49	7			
10	12	80	62	7			

Tabla 20. Resultados ensayo a tracción para Diámetro_A= 10mm, Diámetro_B=12mm

1.3.5. Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
12	12	40	38	5	212	172	164
12	12	40	53	5	119	192	544
12	12	40	68	5			
12	12	50	38	5	319	298	390
12	12	50	53	5	682	929	719
12	12	50	68	5	588	707	515
12	12	60	38	5	1096	826	943
12	12	60	53	5	644	1142	1349
12	12	60	68	5	1086	1005	890
12	12	70	38	5	1099	1013	893
12	12	70	53	5	1745	1966	1154
12	12	70	68	5	1537	2013	1864
12	12	80	38	5	1713	1384	1471
12	12	80	53	5	1260	1079	1028
12	12	80	68	5	1141	1914	1743
12	12	40	38	6	135		
12	12	40	53	6	137		
12	12	40	68	6	70	313	102
12	12	50	38	6	295	459	359
12	12	50	53	6	375	322	462
12	12	50	68	6	401	587	254
12	12	60	38	6	935	829	942
12	12	60	53	6	776	1021	1353
12	12	60	68	6	1375	1711	1109
12	12	70	38	6	969	1234	1160
12	12	70	53	6	1267	1460	1584
12	12	70	68	6	1434	2043	1841
12	12	80	38	6	1288	1580	1737
12	12	80	53	6	1899	2358	2020
12	12	80	68	6	2303	2038	2110
12	12	40	38	7	414	189	175
12	12	40	53	7	114	169	
12	12	40	68	7	38		
12	12	50	38	7	239	139	
12	12	50	53	7	190	623	47
12	12	50	68	7	360	384	178
12	12	60	38	7	1254	119??	685
12	12	60	53	7	1144	326	821
12	12	60	68	7	1734	871	1073
12	12	70	38	7	1160	1073	1180
12	12	70	53	7	1379	1363	983
12	12	70	68	7	1997	988	1521
12	12	80	38	7	1060	1203	1015
12	12	80	53	7	1321	1907	1296
12	12	80	68	7	2285	1852	1514

Tabla 21. Resultados ensayo a tracción para Diámetro_A= 12mm, Diámetro_B=12mm

1.3.6. Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
10	16	40	41	5	91	86	86
10	16	40	57	5	112	211	156
10	16	40	74	5	127	132	
10	16	50	41	5	168	193	79
10	16	50	57	5	184	574	60
10	16	50	74	5	830	270	468
10	16	60	41	5	656	692	473
10	16	60	57	5	880	810	610
10	16	60	74	5	583	653	1102
10	16	70	41	5	874	608	1313
10	16	70	57	5	1492	816	1276
10	16	70	74	5	1004	1009	1088
10	16	80	41	5	1157	942	1110
10	16	80	57	5	1325	1622	1448
10	16	80	74	5	333	1255	1447
10	16	40	41	6	188		
10	16	40	57	6	86	151	
10	16	40	74	6	160	79	
10	16	50	41	6	230	304	700
10	16	50	57	6	702	501	165
10	16	50	74	6	225	372	
10	16	60	41	6	621	877	760
10	16	60	57	6	786	882	1608
10	16	60	74	6	1073	1202	805
10	16	70	41	6	733	919	1331
10	16	70	57	6	416	903	1416
10	16	70	74	6	1534	2147	1248
10	16	80	41	6	1260	1390	1336
10	16	80	57	6	1856	1988	1707
10	16	80	74	6	1946	2055	1622
10	16	40	41	7			
10	16	40	57	7	122		
10	16	40	74	7	109		
10	16	50	41	7	112	317	438
10	16	50	57	7	295	314	204
10	16	50	74	7	203	416	678
10	16	60	41	7	750	842	1204
10	16	60	57	7	781	738	607
10	16	60	74	7	1758	1537	
10	16	70	41	7	1076	983	944
10	16	70	57	7	1352	1174	1702
10	16	70	74	7	1801	1625	1729
10	16	80	41	7	1360	1584	1786
10	16	80	57	7	1435	1635	1531
10	16	80	74	7	1285	1433	1855

Tabla 22. Resultados ensayo a tracción para Diámetro_A= 10mm, Diámetro_B=16mm

1.3.7. Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
12	16	40	44	5	53		
12	16	40	62	5	95		
12	16	40	79	5	23		
12	16	50	44	5	526	870	639
12	16	50	62	5	378	200	250
12	16	50	79	5	344	269	336
12	16	60	44	5	744	813	761
12	16	60	62	5	784	852	578
12	16	60	79	5	661	642	931
12	16	70	44	5	1248	1142	964
12	16	70	62	5	980	1681	999
12	16	70	79	5	2235	1824	2057
12	16	80	44	5	2319	1320	1890
12	16	80	62	5	1457	1887	1389
12	16	80	79	5	2144	3085	3043
12	16	40	44	6	193	207	
12	16	40	62	6	266	82	63
12	16	40	79	6	285	113	36
12	16	50	44	6	174	217	255
12	16	50	62	6	192	117	374
12	16	50	79	6	563	245	834
12	16	60	44	6	1163	957	1093
12	16	60	62	6	713	1592	1217
12	16	60	79	6	2204	1379	1099
12	16	70	44	6	1331	1135	572
12	16	70	62	6	2295	1315	2137
12	16	70	79	6	1233	1529	1801
12	16	80	44	6	1345	851	1426
12	16	80	62	6	1382	1007	1228
12	16	80	79	6	1788	2287	1917
12	16	40	44	7	111		
12	16	40	62	7	327		
12	16	40	79	7			
12	16	50	44	7	197	360	
12	16	50	62	7	383	332	143
12	16	50	79	7	362	215	441
12	16	60	44	7	755	478	663
12	16	60	62	7	1192	897	536
12	16	60	79	7	581	423	557
12	16	70	44	7	1101	1035	549
12	16	70	62	7	1092	1302	1210
12	16	70	79	7	1666	1103	835
12	16	80	44	7	950	1019	1497
12	16	80	62	7	1778	1525	1393
12	16	80	79	7	776	2206	1722

Tabla 23. Resultados ensayo a tracción para Diámetro_A= 12mm, Diámetro_B=16mm

1.3.8. Diámetro_A=16mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
16	16	40	50	5			
16	16	40	70	5			
16	16	40	90	5			
16	16	50	50	5	105	295	402
16	16	50	70	5	190	302	290
16	16	50	90	5	266	472	320
16	16	60	50	5	472	660	413
16	16	60	70	5	891	225	422
16	16	60	90	5	450	524	964
16	16	70	50	5	1325	573	643
16	16	70	70	5	938	1089	1195
16	16	70	90	5	1069	1186	1624
16	16	80	50	5	1037	962	1199
16	16	80	70	5	2485	1555	1418
16	16	80	90	5	1345	2168	1914
16	16	40	50	6			
16	16	40	70	6			
16	16	40	90	6			
16	16	50	50	6	225		
16	16	50	70	6	271	303	160
16	16	50	90	6	426	132	139
16	16	60	50	6	816	636	786
16	16	60	70	6	420	1170	1724
16	16	60	90	6	439	542	341
16	16	70	50	6	832	549	508
16	16	70	70	6	423	1039	2055
16	16	70	90	6	2104	1141	1289
16	16	80	50	6	1038	946	1195
16	16	80	70	6	1360	1054	1020
16	16	80	90	6	1725	1770	2050
16	16	40	50	7			
16	16	40	70	7			
16	16	40	90	7			
16	16	50	50	7	155	124	
16	16	50	70	7	369	246	
16	16	50	90	7	388	241	385
16	16	60	50	7	412	528	393
16	16	60	70	7	719	459	1091
16	16	60	90	7	384	595	890
16	16	70	50	7	581	1024	344
16	16	70	70	7	789	779	1583
16	16	70	90	7	1241	1507	1550
16	16	80	50	7	1220	1244	1758
16	16	80	70	7	1590	1933	1027
16	16	80	90	7	1698	1476	2058

Tabla 24. Resultados ensayo a tracción para Diámetro_A= 16mm, Diámetro_B=16mm

1.4. Resultante de la fuerza necesaria para el despegue

Considerando los resultados medios del ensayo a cizalladura como la componente horizontal del vector fuerza, y los resultados medios del ensayo a tracción como la componente vertical del vector fuerza, se calcula la resultante de la fuerza necesaria para el despegue como el módulo definido por ambas componentes.

1.4.1. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=8mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
8	8	40	25	5	219
8	8	50	25	5	481
8	8	60	25	5	733
8	8	70	25	5	1.004
8	8	80	25	5	1.422
8	8	40	35	5	141
8	8	50	35	5	457
8	8	60	35	5	1.394
8	8	70	35	5	1.602
8	8	80	35	5	
8	8	40	45	5	194
8	8	50	45	5	605
8	8	60	45	5	1.158
8	8	70	45	5	1.595
8	8	80	45	5	
8	8	40	25	6	146
8	8	50	25	6	524
8	8	60	25	6	991
8	8	70	25	6	1.150
8	8	80	25	6	1.639
8	8	40	35	6	137
8	8	50	35	6	369
8	8	60	35	6	1.087
8	8	70	35	6	1.413
8	8	80	35	6	
8	8	40	45	6	160
8	8	50	45	6	858
8	8	60	45	6	1.256
8	8	70	45	6	0
8	8	80	45	6	
8	8	40	25	7	263
8	8	50	25	7	207
8	8	60	25	7	763
8	8	70	25	7	1.211
8	8	80	25	7	1.565
8	8	40	35	7	118
8	8	50	35	7	251
8	8	60	35	7	921
8	8	70	35	7	1.590
8	8	80	35	7	
8	8	40	45	7	98
8	8	50	45	7	354
8	8	60	45	7	1.454
8	8	70	45	7	0
8	8	80	45	7	

Tabla 25. Resultante de fuerza necesaria para el despegue para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=8mm

1.4.2. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=10mm

A (φ)	B (φ)	I (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
8	10	40	29	5	161
8	10	50	29	5	436
8	10	60	29	5	1173
8	10	70	29	5	1412
8	10	80	29	5	1625
8	10	40	40	5	204
8	10	50	40	5	705
8	10	60	40	5	1239
8	10	70	40	5	1517
8	10	80	40	5	1167
8	10	40	51	5	167
8	10	50	51	5	699
8	10	60	51	5	1427
8	10	70	51	5	574
8	10	80	51	5	0
8	10	40	29	6	231
8	10	50	29	6	395
8	10	60	29	6	679
8	10	70	29	6	1419
8	10	80	29	6	1465
8	10	40	40	6	141
8	10	50	40	6	438
8	10	60	40	6	1136
8	10	70	40	6	1323
8	10	80	40	6	643
8	10	40	51	6	137
8	10	50	51	6	353
8	10	60	51	6	1457
8	10	70	51	6	1371
8	10	80	51	6	0
8	10	40	29	7	86
8	10	50	29	7	468
8	10	60	29	7	830
8	10	70	29	7	1363
8	10	80	29	7	1689
8	10	40	40	7	135
8	10	50	40	7	397
8	10	60	40	7	1385
8	10	70	40	7	1884
8	10	80	40	7	1040
8	10	40	51	7	188
8	10	50	51	7	404
8	10	60	51	7	1693
8	10	70	51	7	1145
8	10	80	51	7	0

Tabla 26. Resultante de fuerza necesaria para el despegue para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=10mm

1.4.3. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
8	12	40	32	5	<u>153</u>
8	12	50	32	5	<u>523</u>
8	12	60	32	5	<u>891</u>
8	12	70	32	5	<u>1242</u>
8	12	80	32	5	<u>1462</u>
8	12	40	44	5	<u>286</u>
8	12	50	44	5	<u>842</u>
8	12	60	44	5	<u>1274</u>
8	12	70	44	5	<u>901</u>
8	12	80	44	5	<u>0</u>
8	12	40	57	5	<u>226</u>
8	12	50	57	5	<u>652</u>
8	12	60	57	5	<u>1219</u>
8	12	70	57	5	<u>0</u>
8	12	80	57	5	<u>0</u>
8	12	40	32	6	<u>143</u>
8	12	50	32	6	<u>318</u>
8	12	60	32	6	<u>890</u>
8	12	70	32	6	<u>1144</u>
8	12	80	32	6	<u>0</u>
8	12	40	44	6	<u>220</u>
8	12	50	44	6	<u>314</u>
8	12	60	44	6	<u>1132</u>
8	12	70	44	6	<u>0</u>
8	12	80	44	6	<u>0</u>
8	12	40	57	6	<u>277</u>
8	12	50	57	6	<u>414</u>
8	12	60	57	6	<u>1267</u>
8	12	70	57	6	<u>0</u>
8	12	80	57	6	<u>0</u>
8	12	40	32	7	<u>121</u>
8	12	50	32	7	<u>353</u>
8	12	60	32	7	<u>1018</u>
8	12	70	32	7	<u>1835</u>
8	12	80	32	7	<u>1675</u>
8	12	40	44	7	<u>173</u>
8	12	50	44	7	<u>259</u>
8	12	60	44	7	<u>1820</u>
8	12	70	44	7	<u>1755</u>
8	12	80	44	7	<u>0</u>
8	12	40	57	7	<u>188</u>
8	12	50	57	7	<u>502</u>
8	12	60	57	7	<u>1318</u>
8	12	70	57	7	<u>0</u>
8	12	80	57	7	<u>0</u>

Tabla 27. Resultante de fuerza necesaria para el despegue para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=12mm

1.4.4. Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
10	12	40	35	5	190
10	12	50	35	5	381
10	12	60	35	5	1078
10	12	70	35	5	1187
10	12	80	35	5	2196
10	12	40	49	5	231
10	12	50	49	5	514
10	12	60	49	5	1246
10	12	70	49	5	2317
10	12	80	49	5	3133
10	12	40	62	5	144
10	12	50	62	5	452
10	12	60	62	5	1857
10	12	70	62	5	2410
10	12	80	62	5	0
10	12	40	35	6	134
10	12	50	35	6	269
10	12	60	35	6	750
10	12	70	35	6	1082
10	12	80	35	6	1629
10	12	40	49	6	121
10	12	50	49	6	342
10	12	60	49	6	964
10	12	70	49	6	2116
10	12	80	49	6	3020
10	12	40	62	6	282
10	12	50	62	6	334
10	12	60	62	6	1329
10	12	70	62	6	2622
10	12	80	62	6	0
10	12	40	35	7	104
10	12	50	35	7	228
10	12	60	35	7	787
10	12	70	35	7	1506
10	12	80	35	7	1828
10	12	40	49	7	187
10	12	50	49	7	281
10	12	60	49	7	1188
10	12	70	49	7	1826
10	12	80	49	7	0
10	12	40	62	7	249
10	12	50	62	7	495
10	12	60	62	7	1384
10	12	70	62	7	2302
10	12	80	62	7	0

Tabla 28. Resultante de fuerza necesaria para el despegue para Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=12mm

1.4.5. Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
12	12	40	38	5	196
12	12	50	38	5	531
12	12	60	38	5	1162
12	12	70	38	5	1388
12	12	80	38	5	2259
12	12	40	53	5	286
12	12	50	53	5	813
12	12	60	53	5	1168
12	12	70	53	5	2061
12	12	80	53	5	2248
12	12	40	68	5	168
12	12	50	68	5	725
12	12	60	68	5	1474
12	12	70	68	5	2624
12	12	80	68	5	3273
12	12	40	38	6	154
12	12	50	38	6	384
12	12	60	38	6	1008
12	12	70	38	6	1596
12	12	80	38	6	2064
12	12	40	53	6	142
12	12	50	53	6	402
12	12	60	53	6	1260
12	12	70	53	6	2087
12	12	80	53	6	2825
12	12	40	68	6	167
12	12	50	68	6	436
12	12	60	68	6	1682
12	12	70	68	6	2763
12	12	80	68	6	3151
12	12	40	38	7	268
12	12	50	38	7	223
12	12	60	38	7	1373
12	12	70	38	7	1257
12	12	80	38	7	1546
12	12	40	53	7	142
12	12	50	53	7	316
12	12	60	53	7	1113
12	12	70	53	7	2003
12	12	80	53	7	2532
12	12	40	68	7	109
12	12	50	68	7	382
12	12	60	68	7	1735
12	12	70	68	7	2437
12	12	80	68	7	3028

Tabla 29. Resultante de fuerza necesaria para el despegue para Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=12mm

1.4.6. Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
10	16	40	41	5	94
10	16	50	41	5	185
10	16	60	41	5	787
10	16	70	41	5	1216
10	16	80	41	5	1646
10	16	40	57	5	179
10	16	50	57	5	317
10	16	60	57	5	1351
10	16	70	57	5	1817
10	16	80	57	5	2416
10	16	40	74	5	136
10	16	50	74	5	540
10	16	60	74	5	988
10	16	70	74	5	2055
10	16	80	74	5	2588
10	16	40	41	6	193
10	16	50	41	6	413
10	16	60	41	6	963
10	16	70	41	6	1410
10	16	80	41	6	1887
10	16	40	57	6	161
10	16	50	57	6	551
10	16	60	57	6	1413
10	16	70	57	6	1208
10	16	80	57	6	2856
10	16	40	74	6	130
10	16	50	74	6	308
10	16	60	74	6	1153
10	16	70	74	6	2080
10	16	80	74	6	2573
10	16	40	41	7	0
10	16	50	41	7	293
10	16	60	41	7	1055
10	16	70	41	7	1694
10	16	80	41	7	2388
10	16	40	57	7	126
10	16	50	57	7	292
10	16	60	57	7	855
10	16	70	57	7	1840
10	16	80	57	7	2430
10	16	40	74	7	113
10	16	50	74	7	441
10	16	60	74	7	1781
10	16	70	74	7	2701
10	16	80	74	7	2478

Tabla 30. Resultante de fuerza necesaria para el despegue para Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=16mm

1.4.7. Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
12	16	40	44	5	75
12	16	50	44	5	695
12	16	60	44	5	811
12	16	70	44	5	1346
12	16	80	44	5	2211
12	16	40	62	5	102
12	16	50	62	5	295
12	16	60	62	5	817
12	16	70	62	5	1574
12	16	80	62	5	2206
12	16	40	79	5	91
12	16	50	79	5	348
12	16	60	79	5	869
12	16	70	79	5	2759
12	16	80	79	5	3553
12	16	40	44	6	203
12	16	50	44	6	230
12	16	60	44	6	1108
12	16	70	44	6	1299
12	16	80	44	6	1476
12	16	40	62	6	140
12	16	50	62	6	247
12	16	60	62	6	1275
12	16	70	62	6	2186
12	16	80	62	6	2196
12	16	40	79	6	155
12	16	50	79	6	582
12	16	60	79	6	1786
12	16	70	79	6	1942
12	16	80	79	6	2651
12	16	40	44	7	117
12	16	50	44	7	294
12	16	60	44	7	702
12	16	70	44	7	1029
12	16	80	44	7	1559
12	16	40	62	7	327
12	16	50	62	7	293
12	16	60	62	7	946
12	16	70	62	7	1483
12	16	80	62	7	2153
12	16	40	79	7	0
12	16	50	79	7	353
12	16	60	79	7	553
12	16	70	79	7	1757
12	16	80	79	7	2294

Tabla 31. Resultante de fuerza necesaria para el despegue para Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=16mm

1.4.8. Diámetro_A=16mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
16	16	40	50	5	0
16	16	50	50	5	271
16	16	60	50	5	555
16	16	70	50	5	972
16	16	80	50	5	1503
16	16	40	70	5	0
16	16	50	70	5	286
16	16	60	70	5	568
16	16	70	70	5	1203
16	16	80	70	5	1998
16	16	40	90	5	0
16	16	50	90	5	372
16	16	60	90	5	720
16	16	70	90	5	1583
16	16	80	90	5	2540
16	16	40	50	6	0
16	16	50	50	6	248
16	16	60	50	6	810
16	16	70	50	6	695
16	16	80	50	6	1406
16	16	40	70	6	0
16	16	50	70	6	266
16	16	60	70	6	1121
16	16	70	70	6	1344
16	16	80	70	6	1403
16	16	40	90	6	0
16	16	50	90	6	257
16	16	60	90	6	656
16	16	70	90	6	1737
16	16	80	90	6	2761
16	16	40	50	7	0
16	16	50	50	7	184
16	16	60	50	7	495
16	16	70	50	7	772
16	16	80	50	7	1775
16	16	40	70	7	0
16	16	50	70	7	318
16	16	60	70	7	876
16	16	70	70	7	1179
16	16	80	70	7	1690
16	16	40	90	7	0
16	16	50	90	7	351
16	16	60	90	7	718
16	16	70	90	7	1690
16	16	80	90	7	2137

Tabla 32. Resultante de fuerza necesaria para el despegue para Diámetro_A=16mm, Diámetro_B=16mm

1.5. Aplicación de filtros

Tras analizar los resultados obtenidos de los ensayos, se decide aplicar dos filtros, un filtro en la parte inferior, descartando aquellos valores cuyo módulo de \mathcal{F} (despegue) resulta inferior a 350 kg y otro filtro por la parte superior por el que se descartan aquellos valores en los que el espesor resultante de la unión comparado con el valor teórico descendió por debajo del 15%.

Los resultados obtenidos una vez aplicados dichos filtros, se muestran a continuación.

1.5.1. Resultados en forma de tabla

1.5.1.1. $\text{Diámetro}_A=8\text{mm}$, $\text{Diámetro}_B=8\text{mm}$

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
8	8	40	25	5	
8	8	50	25	5	481
8	8	60	25	5	733
8	8	70	25	5	1.004
8	8	80	25	5	
8	8	40	35	5	
8	8	50	35	5	457
8	8	60	35	5	1.394
8	8	70	35	5	
8	8	80	35	5	
8	8	40	45	5	
8	8	50	45	5	605
8	8	60	45	5	1.158
8	8	70	45	5	
8	8	80	45	5	
8	8	40	25	6	
8	8	50	25	6	524
8	8	60	25	6	991
8	8	70	25	6	1.150
8	8	80	25	6	
8	8	40	35	6	
8	8	50	35	6	369
8	8	60	35	6	1.087
8	8	70	35	6	
8	8	80	35	6	
8	8	40	45	6	
8	8	50	45	6	858
8	8	60	45	6	1.256
8	8	70	45	6	
8	8	80	45	6	
8	8	40	25	7	
8	8	50	25	7	
8	8	60	25	7	763
8	8	70	25	7	1.211
8	8	80	25	7	
8	8	40	35	7	
8	8	50	35	7	
8	8	60	35	7	921
8	8	70	35	7	
8	8	80	35	7	
8	8	40	45	7	
8	8	50	45	7	354
8	8	60	45	7	1.454
8	8	70	45	7	
8	8	80	45	7	

Tabla 33. Resultados filtrados para $\text{Diámetro}_A=8\text{mm}$, $\text{Diámetro}_B=8\text{mm}$

1.5.1.2. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=10mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
8	10	40	29	5	
8	10	50	29	5	436
8	10	60	29	5	1.173
8	10	70	29	5	1.412
8	10	80	29	5	
8	10	40	40	5	
8	10	50	40	5	705
8	10	60	40	5	1.239
8	10	70	40	5	
8	10	80	40	5	
8	10	40	51	5	
8	10	50	51	5	699
8	10	60	51	5	1.427
8	10	70	51	5	
8	10	80	51	5	
8	10	40	29	6	
8	10	50	29	6	395
8	10	60	29	6	679
8	10	70	29	6	1.419
8	10	80	29	6	
8	10	40	40	6	
8	10	50	40	6	438
8	10	60	40	6	1.136
8	10	70	40	6	
8	10	80	40	6	
8	10	40	51	6	
8	10	50	51	6	353
8	10	60	51	6	1.457
8	10	70	51	6	
8	10	80	51	6	
8	10	40	29	7	
8	10	50	29	7	468
8	10	60	29	7	830
8	10	70	29	7	1.363
8	10	80	29	7	
8	10	40	40	7	
8	10	50	40	7	397
8	10	60	40	7	1.385
8	10	70	40	7	
8	10	80	40	7	
8	10	40	51	7	
8	10	50	51	7	404
8	10	60	51	7	1.693
8	10	70	51	7	
8	10	80	51	7	

Tabla 34. Resultados filtrados para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=10mm

1.5.1.3. Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
8	12	40	32	5	
8	12	50	32	5	523
8	12	60	32	5	891
8	12	70	32	5	1.242
8	12	80	32	5	
8	12	40	44	5	
8	12	50	44	5	842
8	12	60	44	5	1.274
8	12	70	44	5	
8	12	80	44	5	
8	12	40	57	5	
8	12	50	57	5	652
8	12	60	57	5	1.219
8	12	70	57	5	
8	12	80	57	5	
8	12	40	32	6	
8	12	50	32	6	
8	12	60	32	6	890
8	12	70	32	6	1.144
8	12	80	32	6	
8	12	40	44	6	
8	12	50	44	6	
8	12	60	44	6	1.132
8	12	70	44	6	
8	12	80	44	6	
8	12	40	57	6	
8	12	50	57	6	414
8	12	60	57	6	1.267
8	12	70	57	6	
8	12	80	57	6	
8	12	40	32	7	
8	12	50	32	7	353
8	12	60	32	7	1.018
8	12	70	32	7	1.835
8	12	80	32	7	
8	12	40	44	7	
8	12	50	44	7	
8	12	60	44	7	1.820
8	12	70	44	7	
8	12	80	44	7	
8	12	40	57	7	
8	12	50	57	7	502
8	12	60	57	7	1.318
8	12	70	57	7	
8	12	80	57	7	

Tabla 35. Resultados filtrados para Diámetro_A=8mm, Diámetro_B=12mm

1.5.1.4. Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
10	12	40	35	5	
10	12	50	35	5	381
10	12	60	35	5	1.078
10	12	70	35	5	1.187
10	12	80	35	5	2.196
10	12	40	49	5	
10	12	50	49	5	514
10	12	60	49	5	1.246
10	12	70	49	5	2.317
10	12	80	49	5	3.133
10	12	40	62	5	
10	12	50	62	5	452
10	12	60	62	5	1.857
10	12	70	62	5	2.410
10	12	80	62	5	
10	12	40	35	6	
10	12	50	35	6	
10	12	60	35	6	750
10	12	70	35	6	1.082
10	12	80	35	6	1.629
10	12	40	49	6	
10	12	50	49	6	
10	12	60	49	6	964
10	12	70	49	6	2.116
10	12	80	49	6	3.020
10	12	40	62	6	
10	12	50	62	6	
10	12	60	62	6	1.329
10	12	70	62	6	2.622
10	12	80	62	6	
10	12	40	35	7	
10	12	50	35	7	
10	12	60	35	7	787
10	12	70	35	7	1.506
10	12	80	35	7	1.828
10	12	40	49	7	
10	12	50	49	7	
10	12	60	49	7	1.188
10	12	70	49	7	1.826
10	12	80	49	7	
10	12	40	62	7	
10	12	50	62	7	495
10	12	60	62	7	1.384
10	12	70	62	7	2.302
10	12	80	62	7	

Tabla 36. Resultados filtrados para Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=12mm

1.5.1.5. Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=12mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + t^2}$
12	12	40	38	5	
12	12	50	38	5	531
12	12	60	38	5	1.162
12	12	70	38	5	1.388
12	12	80	38	5	2.259
12	12	40	53	5	
12	12	50	53	5	813
12	12	60	53	5	1.168
12	12	70	53	5	2.061
12	12	80	53	5	
12	12	40	68	5	
12	12	50	68	5	725
12	12	60	68	5	1.474
12	12	70	68	5	2.624
12	12	80	68	5	
12	12	40	38	6	
12	12	50	38	6	384
12	12	60	38	6	1.008
12	12	70	38	6	1.596
12	12	80	38	6	2.064
12	12	40	53	6	
12	12	50	53	6	402
12	12	60	53	6	1.260
12	12	70	53	6	2.087
12	12	80	53	6	2.825
12	12	40	68	6	
12	12	50	68	6	436
12	12	60	68	6	1.682
12	12	70	68	6	2.763
12	12	80	68	6	
12	12	40	38	7	
12	12	50	38	7	
12	12	60	38	7	1.373
12	12	70	38	7	1.257
12	12	80	38	7	1.546
12	12	40	53	7	
12	12	50	53	7	
12	12	60	53	7	1.113
12	12	70	53	7	2.003
12	12	80	53	7	2.532
12	12	40	68	7	
12	12	50	68	7	382
12	12	60	68	7	1.735
12	12	70	68	7	2.437
12	12	80	68	7	

Tabla 37. Resultados filtrados para Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=12mm

1.5.1.6. Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
10	16	40	41	5	
10	16	50	41	5	
10	16	60	41	5	787
10	16	70	41	5	1.216
10	16	80	41	5	1.646
10	16	40	57	5	
10	16	50	57	5	
10	16	60	57	5	1.351
10	16	70	57	5	1.817
10	16	80	57	5	2.416
10	16	40	74	5	
10	16	50	74	5	540
10	16	60	74	5	988
10	16	70	74	5	2.055
10	16	80	74	5	
10	16	40	41	6	
10	16	50	41	6	413
10	16	60	41	6	963
10	16	70	41	6	1.410
10	16	80	41	6	1.887
10	16	40	57	6	
10	16	50	57	6	551
10	16	60	57	6	1.413
10	16	70	57	6	1.208
10	16	80	57	6	2.856
10	16	40	74	6	
10	16	50	74	6	
10	16	60	74	6	1.153
10	16	70	74	6	2.080
10	16	80	74	6	
10	16	40	41	7	
10	16	50	41	7	
10	16	60	41	7	1.055
10	16	70	41	7	1.694
10	16	80	41	7	2.388
10	16	40	57	7	
10	16	50	57	7	
10	16	60	57	7	855
10	16	70	57	7	1.840
10	16	80	57	7	2.430
10	16	40	74	7	
10	16	50	74	7	441
10	16	60	74	7	1.781
10	16	70	74	7	2.701
10	16	80	74	7	

Tabla 38. Resultados filtrados para Diámetro_A=10mm, Diámetro_B=16mm

1.5.1.7. Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
12	16	40	44	5	
12	16	50	44	5	695
12	16	60	44	5	811
12	16	70	44	5	1.346
12	16	80	44	5	2.211
12	16	40	62	5	
12	16	50	62	5	
12	16	60	62	5	817
12	16	70	62	5	1.574
12	16	80	62	5	2.206
12	16	40	79	5	
12	16	50	79	5	
12	16	60	79	5	869
12	16	70	79	5	2.759
12	16	80	79	5	3.553
12	16	40	44	6	
12	16	50	44	6	
12	16	60	44	6	1.108
12	16	70	44	6	1.299
12	16	80	44	6	1.476
12	16	40	62	6	
12	16	50	62	6	
12	16	60	62	6	1.275
12	16	70	62	6	2.186
12	16	80	62	6	2.196
12	16	40	79	6	
12	16	50	79	6	582
12	16	60	79	6	1.786
12	16	70	79	6	1.942
12	16	80	79	6	2.651
12	16	40	44	7	
12	16	50	44	7	
12	16	60	44	7	702
12	16	70	44	7	1.029
12	16	80	44	7	1.559
12	16	40	62	7	
12	16	50	62	7	
12	16	60	62	7	946
12	16	70	62	7	1.483
12	16	80	62	7	2.153
12	16	40	79	7	
12	16	50	79	7	353
12	16	60	79	7	553
12	16	70	79	7	1.757
12	16	80	79	7	2.294

Tabla 39. Resultados filtrados para Diámetro_A=12mm, Diámetro_B=16mm

1.5.1.8. Diámetro_A=16mm, Diámetro_B=16mm

A (φ)	B (φ)	l (%)	t (%)	P (bar)	$\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$
16	16	40	50	5	
16	16	50	50	5	
16	16	60	50	5	555
16	16	70	50	5	972
16	16	80	50	5	1.503
16	16	40	70	5	
16	16	50	70	5	
16	16	60	70	5	568
16	16	70	70	5	1.203
16	16	80	70	5	1.998
16	16	40	90	5	
16	16	50	90	5	372
16	16	60	90	5	720
16	16	70	90	5	1.583
16	16	80	90	5	2.540
16	16	40	50	6	
16	16	50	50	6	
16	16	60	50	6	810
16	16	70	50	6	695
16	16	80	50	6	1.406
16	16	40	70	6	
16	16	50	70	6	
16	16	60	70	6	1.121
16	16	70	70	6	1.344
16	16	80	70	6	1.403
16	16	40	90	6	
16	16	50	90	6	
16	16	60	90	6	656
16	16	70	90	6	1.737
16	16	80	90	6	2.761
16	16	40	50	7	
16	16	50	50	7	
16	16	60	50	7	495
16	16	70	50	7	772
16	16	80	50	7	1.775
16	16	40	70	7	
16	16	50	70	7	
16	16	60	70	7	876
16	16	70	70	7	1.179
16	16	80	70	7	1.690
16	16	40	90	7	
16	16	50	90	7	351
16	16	60	90	7	718
16	16	70	90	7	1.690
16	16	80	90	7	2.137

Tabla 40. Resultados filtrados para DiámetroA=16mm, DiámetroB=16mm



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ANEXO II
MANUAL DE LA MÁQUINA
SOLDADORA “MPH DIGITAL
NEUMÁTICA”**

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOR:

CARMEN MARTÍNEZ ALONSO

MPH-30-M DIGITAL
MPH-30-N DIGITAL
MPH-50-N DIGITAL



MPH-30-M DIGITAL



MPH-30-N DIGITAL
MPH-50-N DIGITAL

Este Manual de Instrucciones debe ser leído y comprendido cuidadosamente. No se debe instalar, operar o efectuar mantenimiento antes de la lectura de este manual.
El equipo debe ser instalado, operado o reparado solamente por personal cualificado, para prevenir averías y prolongar la vida de esta máquina.

INDICE

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Hoja de Seguridad -----	pag. 3/4
Normas Básicas de Seguridad -----	pag. 5
DESCRIPCION -----	pag. 6
FUNCIONAMIENTO -----	pag. 7
CUADRO DE CONVERSIÓN PERIODOS/SEGUNDOS-----	pag. 8
MENSAJES DE ERROR -----	pag. 8
POSICIONES DE LOS BRAZOS -----	pag. 9
INSTALACION Y SISTEMA DE REFRIGERACIÓN -----	pag. 10
CONEXIONADO ELECTRICO Y ESQUEMA ELECTRICO -----	pag. 11
LISTA DE PIEZAS -----	pag. 12/13
CARACTERISTICAS TECNICAS -----	pag. 14
ELECTRODOS PARA MAQUINAS MPH -----	pag. 15
TABLA DE PARAMETROS -----	pag. 16
CERTIFICADO CE-----	pag. 17

PARA SU SEGURIDAD

El incumplimiento de las siguientes normas de seguridad puede provocar accidentes potencialmente mortales.

Disposiciones para prevención de accidentes:

- * Antes de iniciar las operaciones de soldadura, pongase la ropa de protección establecida, por ej. guantes protectores de soldador.
- * Proteja los ojos y el rostro con la protección apropiada a la radiación de la soldadura.

Un contacto eléctrico puede resultar mortal:

- * El equipo de soldadura solo puede ser conectado a un enchufe con adecuada toma de tierra.
- * Utilícelo únicamente con un cable de alimentación en buen estado y con un conductor de tierra.
- * Una clavija reparada de forma inapropiada o con el aislamiento defectuoso puede provocar contactos eléctricos.

* El equipo de soldadura solo puede ser abierto por personal técnico autorizado.

- * Antes de abrir el equipo de soldadura desconecte la clavija de conexión a la red. La simple desconexión del aparato no basta. Espere 2 minutos, para permitir que los condensadores se descarguen.

También el contacto con bajas tensiones puede provocar un "shock" y por consiguiente, un accidente, así pues:

- * Tome precauciones contra posibles caídas, por ej. de andamios o escaleras si trabaja en altura.
- * Durante la soldadura, manipule de manera apropiada, y solo para el fin previsto, la pinza de masa, la pistola de soldar y la pieza en montaje. No toque con las manos desnudas las piezas bajo tensión.
- * Proceda a la sustitución de los electrodos sólo con guantes de protección secos.
- * No utilice cables de masa o de la pistola con aislamiento dañado.

La pieza, las salpicaduras y las gotas de metal están calientes:

- * Mantenga a niños y animales lejos de la zona de trabajo. Su comportamiento es imprevisible.
- * Coserve lejos de la zona de trabajo los contenedores con líquidos inflamables o explosivos. Hay riesgo de incendio y explosión. Nunca trabaje sobre un bidón cerrado.
- * Durante la soldadura o el corte, no caliente gas, polvo o líquidos explosivos.
- * Existe peligro de explosión, incluso las substancias aparentemente inocuas en contenedores cerrados pueden generar en caso de que calienten, una sobrepresión con riesgo de explosión.

Los humos gases pueden provocar dificultades respiratorias e intoxicaciones:

- * No respire los humos y gases.
- * Mantenga una ventilación suficiente de aire fresco.
- * Mantenga lejos de la zona de radiaciones del arco, posibles vapores de disolventes.

PARA SUA SEGURANÇA

O incumprimento das seguintes normas de segurança pode provocar acidentes potencialmente mortais.

Disposições para prevenção de acidentes:

- * Antes de iniciar as operações de soldadura, vista a roupa de protecção estabelecida, por ex:luvas protectoras de soldador.
- * Proteja os olhos e o rosto com a apropriada protecção contra a radiação da soldadura.

Um contacto eléctrico pode resultar mortal:

- * O equipamento de soldadura só pode ser ligado a uma tomada com tomada de terra adequada.
- * Utilize-o unicamente com um cabo de alimentação em bom estado e que seja bom condutor de terra.
- * Uma ficha reparada de maneira incorreta ou com o isolamento defeituoso pode provocar contactos eléctricos.

* Um equipamento de soldadura só pode ser aberto por pessoal técnico autorizado.

- * Antes de abrir o equipamento de soldadura, desligue a ficha de ligação a rede. Desligar simplesmente o aparelho não basta. Espere 2 minutos, para permitir que os condensadores se descarreguem.

Também o contacto com baixas tensões pode provocar um "shock" e, por consequência, um acidente; deste modo:

- * Tome precauções contra possíveis quedas, por ex: de andaimes ou escadas, se trabalha em altura.
- * Durante a soldadura, manipule de maneira apropriada e apenas para o fim previsto, a pinça de massa, a pistola de soldadura e a peça de montagem. Não mexa com as mãos em peças sob tensão.
- * Proceda a substituição dos electrodos utilizando luvas de protecção que estejam totalmente secas.
- * Não utilize cabos de massa ou da pistola com isolamento deteriorado.

A peça, as projecções e as gotas de metal estão quentes:

- * Mantenha as crianças e os animais longe da zona de trabalho. O seu comportamento é imprevisível.
- * Conserve longe da zona de trabalho os contentores com líquidos inflamáveis ou explosivos. Há risco de incêndio ou explosão. Nunca trabalhe sobre um bidão fechado.
- * Durante a soldadura ou corte não aqueça gás, pó ou líquidos explosivos.
- * Existe perigo de explosões incluindo as substâncias aparentemente inocuas em contentores fechados que podem gerar, se aquecidos, uma sobre-pressão com risco de explosão.

Os fumos e gases podem provocar dificuldades respiratórias e intoxicações:

- * Não respire os fumos e gases.
- * Mantenha uma suficiente ventilação de ar fresco.
- * Mantenha longe da zona de radiações, possíveis vapores de dissolventes.

FOR YOUR SAFETY

Failure to comply with the following safety rules can cause potentially fatal accidents.

Observe the following provisions for accident prevention:

- * Before commencing welding operations, put on the established protective clothing, for example, welder's protective gloves.
- * Protect your eyes and face from welding radiation by using the appropriate protection.

An electrical contact can be fatal:

- * Welding equipment may only be plugged into a socket with suitable grounding.
- * Use it only with a power supply cable in good condition and with an earth conductor.
- * A plug that has been improperly repaired or with defective insulation can cause electrical contacts.

* Welding equipment may only be opened by authorized technical personnel,

- * Before opening welding equipment disconnect the plug from the mains. Simply switching off the apparatus is not enough. Wait 2 minutes in order to allow the capacitors to discharge.

Contact with low voltage can also cause a shock and therefore an accident so:

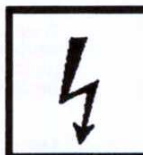
- * Take precautions against possible falls, for example, from scaffolding or stairways if working at heights.
- * During welding, make sure you correctly handle the earth clamp, the welding gun and the part being assembled, and use them only for the intended purpose. Do not touch low voltage parts with bare hands.
- * If grounding cables or torch cables have damaged insulation, do not use them
- * If earth cables or the cables for the gun have damaged insulation, do not use them.

The workpiece, splashes and drops of metal are hot:

- * Keep children and animals away from the work area. Their behaviour is unpredictable.
- * Keep containers with inflammable or explosive liquids away from the work area. There is a risk of fire and explosion. Never work on a sealed drum.
- * During the welding or cutting, do not heat gas dust or explosive liquids.
- * There is a danger of explosion, and even apparently innocuous substances in sealed containers can, if heated, generate excess pressure with risk of explosion.

Smoke and gases can cause breathing difficulties and intoxication:

- * Do not breathe in smoke and gases.
- * Maintain a sufficient ventilation of fresh air.
- * Keep possible solvent vapours away from the arc radiation zone.



Los humos y gases pueden provocar dificultades respiratorias e intoxicaciones:

- * No respire los humos y gases.
- * Mantenga una ventilación suficiente de aire fresco.
- * Mantenga lejos de la zona de radiaciones del arco, posibles vapores de disolventes.

A causa de la radiación ultravioleta los vapores de hidrocarburos clorados pueden transformarse en oxícloruros de carbono tóxicos.

Los impulsos de alta tensión del equipo de cebado pueden provocar alteraciones en los campos eléctricos y electromagnéticos:

- * Los estimuladores del corazón (marcapasos) pueden ser afectados en su funcionamiento en caso de permanencia junto al equipo de soldadura.
- * Es posible que se produzca un funcionamiento defectuoso de equipos electrónicos en las proximidades del lugar de soldadura.

Las reparaciones del equipo de soldadura sólo deben ser realizadas por personal cualificado y autorizado.

Nuestras instrucciones de uso les permiten utilizar el equipo de soldadura de un modo seguro. Así pues léanlas atentamente y asegúrense de que las han entendido bien, antes de iniciar el trabajo.

Os fumos e gases podem provocar dificuldades respiratorias e intoxicações:

- * Não respire os fumos e gases.
- * Mantenha uma suficiente ventilação de ar fresco.
- * Mantenha longe da zona de radiação es, possíveis vapores de dissolventes.

Devido a radiação ultra-violeta os vapores de hidrocarbonetos clorados podem transformar-se em oxíclorados de carbono tóxicos.

Os impulsos de alta tensão do equipamento de alimentação podem provocar alterações nos campos eléctricos e electromagnéticos:

- * Os estimuladores do coração (pace makers) podem ser afectados no seu funcionamento em caso de permanência junto ao equipamento de soldadura.
- * É possível que se produza um funcionamento defeituoso de equipamentos electrónicos nas proximidades do lugar de soldadura.

As reparações do equipamento de soldadura só devem ser realizadas por pessoal qualificado e autorizado.

As nossas instruções de utilização permitem-lhe utilizar o equipamento de soldadura com segurança. Deste modo, leia as instruções com muita atenção e certifique-se de que as entendeu perfeitamente, antes de iniciar o trabalho.

Smoke and gases can cause breathing difficulties and intoxication:

- * Do not breathe in smoke and gases.
- * Maintain a sufficient ventilation of fresh air.
- * Keep possible solvent vapours away from the arc radiation zone.

Ultraviolet radiation can cause chlorated hydrocarbon vapours to convert into toxic carbon oxychlorides.

High-voltage pulses from the priming equipment can cause disturbances in the electric and electromagnetic fields:

- * The functioning of pacemakers can be affected in the event of remaining close to the welding equipment.
- * It is possible for defective functioning of electronic equipment to occur close to the place of welding.

Repairs to welding equipment must only be made by qualified and authorized personnel.

Our operating instructions will allow you to use the welding equipment safely. So, before commencing work read them carefully and make sure that you have understood them properly.



NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD

Leer y practicar las instrucciones de seguridad de la página 3.

Utilizar la protección personal adecuada y normalizada: guantes, delantal, calzado de seguridad y protección ocular.

Mantener las manos alejadas de la zona de soldadura. El cierre mecánico o neumático de los brazos puede producir atrapamiento.

Para reducir las proyecciones y generación de humos durante la soldadura, evitar soldar sobre piezas engrasadas; en el caso de no ser posible, utilizar aspiración localizada.

Efectuar el mantenimiento adecuado de los cables de alimentación y no utilizar cables deteriorados.

La conexión a red debe realizarse mediante un enchufe normalizado.

IMPRESINDIBLE QUE LA MAQUINA SE CONECTE A LA TOMA DE TIERRA ADECUADA.

No soldar en zonas húmedas o con suelo mojado.

No trabajar con las puertas de la máquina abiertas.

Situar la máquina sobre una superficie firme y bien nivelada.

Evitar obstrucciones o plegamiento en las mangueras de refrigeración.

VENTILACIÓN :

El humo procedente de la soldadura, especialmente en espacios cerrados, puede causar irritaciones y molestias si se respiran durante un período de tiempo prolongado. Por tanto:

- Cuidar que haya siempre la ventilación adecuada en la zona de soldadura mediante sistemas naturales o preferentemente aspiración localizada. No soldar sobre materiales galvanizados de zinc, cadmio, plomo o berilio, sin haber previsto la necesaria ventilación o aspiración, para evitar respirar los humos de estos materiales.
- No soldar en locales cercanos donde haya vapores de hidrocarburos clorados procedentes de operaciones de desengrase. El calor por radiación del arco puede hacer reaccionar los vapores de disolventes formando fosgeno, gas muy tóxico, así como otros gases irritantes.
- Si se le irritan momentáneamente los ojos, nariz o garganta durante la soldadura, indica que la ventilación no es adecuada. Haga lo necesario para mejorar la ventilación en la zona de soldadura. Si la molestia física continúa deje de soldar.

DESCRIPCION

Las máquinas de soldadura por puntos, MPH, DIGITAL están controladas electrónicamente por medio de tiristores de potencia.

Las máquinas de puntos MPH-DIGITAL, están controladas por medio de tiristores de potencia. El controlador digital permite efectuar los ajustes de parámetros de una forma muy simplificada, con la posibilidad de efectuar ciclos de soldadura con un o dos impulsos de corriente. Esta característica facilita la soldadura de chapas con algunos restos de óxido o revestimiento de protección. El primer impulso efectúa el decapado de la chapa y el 2º impulso consolida el punto de soldadura. Los parámetros de cada uno de los impulsos (corriente y tiempo) bien como el intervalo entre impulsos (cold) pueden ser regulados separadamente.

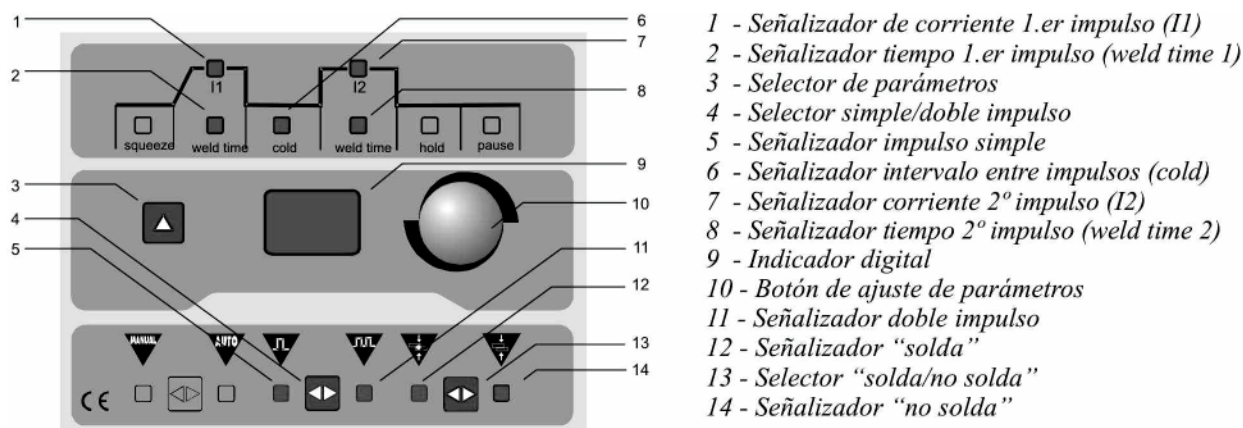
- La corriente de soldadura del primer impulso se establece siguiendo una rampa fija (up-slope) evitando picos de corriente en la red de alimentación. La ausencia de contactores de potencia, aumenta la fiabilidad de la máquina.
- Excelente precisión en la repetitividad de los parámetros (corriente/tiempo).
- A través del interruptor suelda/no suelda, es posible simular ciclos de funcionamiento sin corriente en los puntos, permitiendo hacer los ajustes necesarios de las posiciones de soportes y puntos, antes de iniciar las operaciones de soldadura.



Máquina MPH-DIGITAL Neumática

FUNCIONAMIENTO

Controlador digital



1 - Programación del ciclo de soldadura con 1 impulso de corriente:

- 1.1 – Presionar la tecla 4 hasta que el indicador 5 se encienda (impulso simple).
- 1.2 - Presionar la tecla 3 de selección de parámetros hasta que el indicador 1 (I1) se encienda.
- 1.3 - Ajustar con el botón 10, la corriente de soldadura del 1. er impulso (I1) de 1 hasta 99 %.
- 1.4 - Presionar la tecla 3 hasta que el indicador 2 (weld time 1) se encienda.
- 1.5 - Ajustar con el botón de tiempo de soldadura el 1.er impulso (weld time 1) de 1 hasta 99 ciclos.
- 1.6 - Ajustar las piezas a soldar y soldar pisando el pedal.
- 1.7 - El ciclo de soldadura se completa, cuando el indicador digital indica "on" .

2 - Programación del ciclo de soldadura con 2 impulsos de corriente:

- 2.1 - Presionar la tecla 4 hasta que el indicador 11 se encienda (impulso doble).
- 2.2 - Seguir los pasos anteriores de 1.2 hasta 1.5.
- 2.3 - Presionar la tecla 3 hasta que el indicador 6 (cold) se encienda.
- 2.4 - Ajustar con el botón de ajuste el tiempo de intervalo (cold) entre impulsos (1 a 50 ciclos).
- 2.5 - Presionar la tecla 3 hasta que el indicador 7 (I2) se encienda.
- 2.6 - Ajustar con el botón de ajuste de corriente de soldadura del 2º impulso (I2) de 1 hasta 99%.
- 2.7 - Presionar la tecla 3 hasta que el indicador 8 (weld time 2) se encienda.
- 2.8 - Ajustar con el botón de tiempo de soldadura del 2º impulso (weld time 2) de 1 hasta 99 ciclos.
- 2.9 - Ajustar las piezas a soldar y soldar pisando el pedal.
- 2.10 - El ciclo de soldadura se completa, cuando el indicador digital indica "on".

Atención: Una vez conectada la máquina a la red y después de accionar el interruptor general, en el control digital, se refleja la información de frecuencia de red (50Hz o 60 Hz). El microprocesador detecta la frecuencia y se ajusta de modo automático a estas condiciones. A continuación, efectúa un test automático secuencial de todos los indicadores . Finalmente, el indicador digital refleja "on", informando que la máquina está lista para su utilización.

Cuadro de conversión n° periodos/segundos

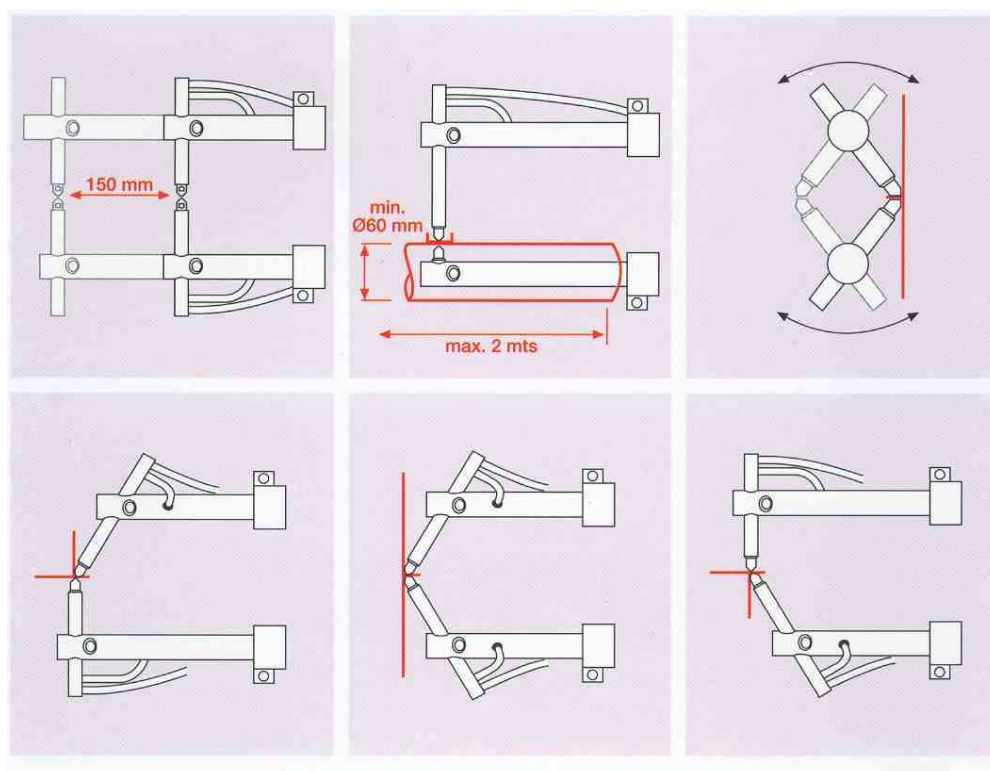
Períodos	Segundos
1	0,02
5	0,10
10	0,20
15	0,30
20	0,40
25	0,50
30	0,60
35	0,70
40	0,80
45	0,90
50	1,00
55	1,10
60	1,20
65	1,30
70	1,40
75	1,50
80	1,60
85	1,70
90	1,80
99	1,98

Mensajes de “error”

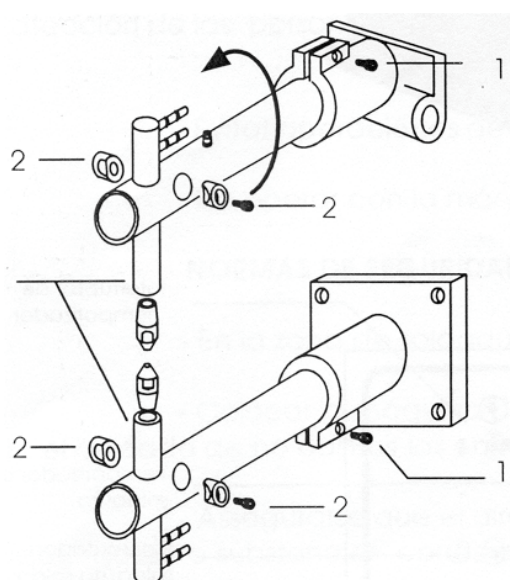
- E1: el operador no ha presionado el pedal hasta el término del ciclo de soldadura.
(Puede originar imperfecciones en la soldadura).

-E2 En el momento que se conecta la máquina, el pedal o alguna tecla se encuentran
activados.

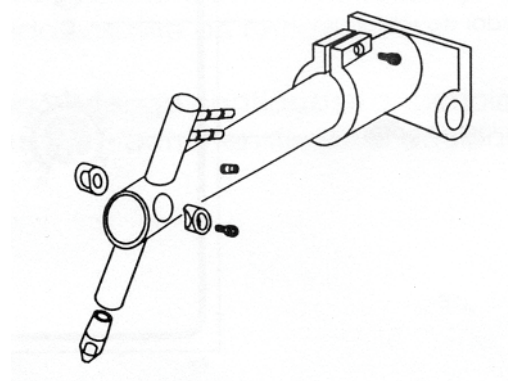
Las posiciones de los brazos son variables de acuerdo con el tipo de pieza a soldar



Para cambiar sus posiciones es necesario:



- Aflojar el tornillo (1) de fijación del brazo para obtener el ángulo deseado.
- Cambiar la posición del sistema de fijación (2) y del soporte del electrodo.(3)
- Ajustar las posiciones de los brazos, soportes y electrodos de acuerdo con sus nuevas posiciones. Las formas de los electrodos deben modificarse para que el contacto con la pieza a soldar sea perfecto.
- Apretar de nuevo todos los tornillos de fijación.



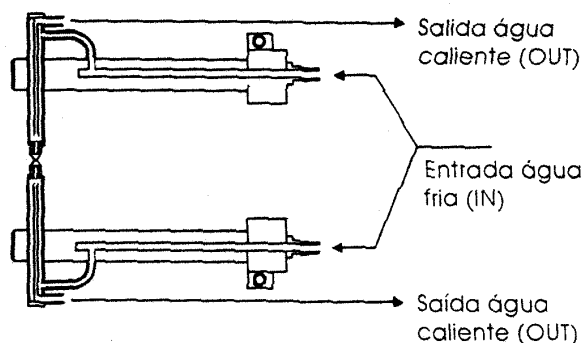
INSTALACIÓN

Al instalar las máquinas deben mantenerse las siguientes precauciones:

El local donde se instale estará protegido de polvo, humedad y materias inflamables.

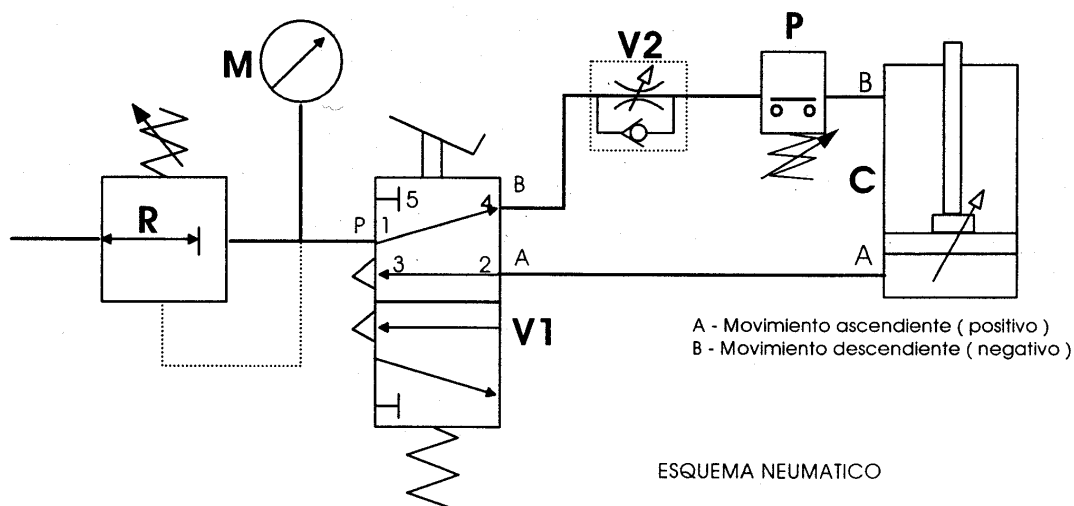
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Las mangueras para el circuito de refrigeración de brazos y electrodos deben ser conectadas a la red de agua, o en alternativa, a un circuito cerrado de refrigeración. La presión de agua no debe exceder de 2 kg/cm² y el caudal deberá ajustarse de acuerdo con la temperatura de los electrodos (< 50° C).



REFRIGERADOR DE BRAZOS Y ELECTRODOS , MPH (250297.5)
(opcional, no incluido en la máquina)

En el circuito de aire comprimido debe instalarse un conjunto de lubricación y filtro. La presión de aire no debe exceder 8 kg/cm².



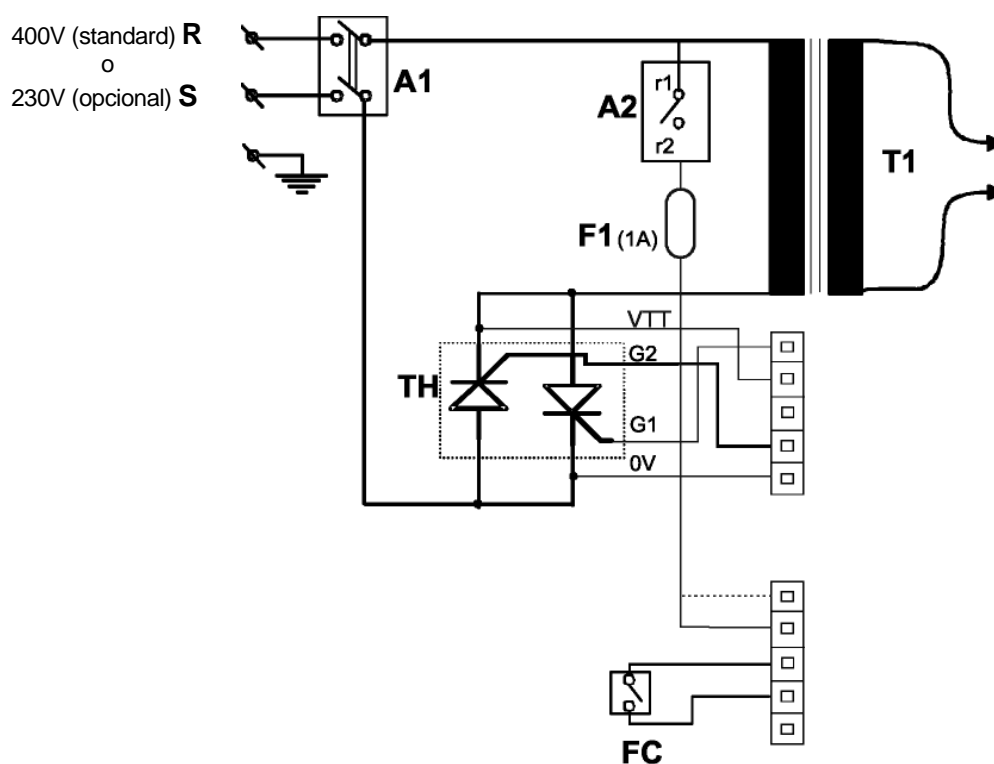
- A – Movimiento ascendente (positivo)
- B – Movimiento descendente (negativo)
- C – Cilindro neumático Ø 50 – 100 (con amortiguadores fin de carrera)
- P – Interruptor de presión
- M – Manómetro de presión de aire
- R - Regulador de presión de aire
- V1 - Válvula de mando (pedal)
- V2 – Regulador de caudal

CONEXIONADO ELECTRICO

Antes de conectar el cable de alimentación a la red debe verificarse:

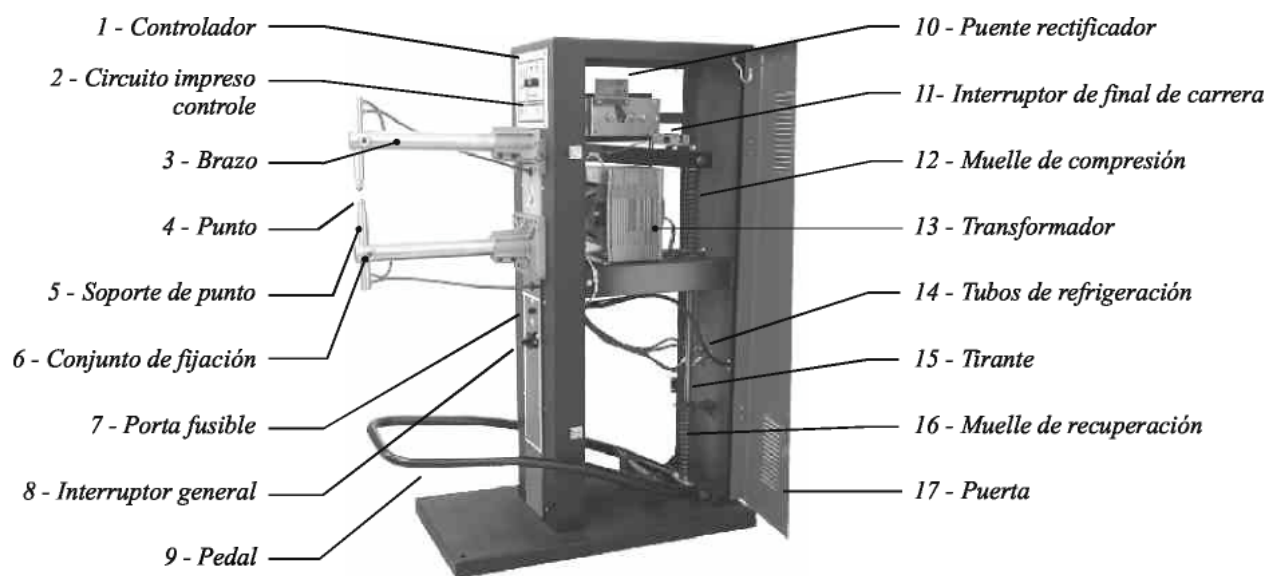
- A) Si la tensión es correcta (400 V.) (standard) o 230 V.(opcional).
- B) La conexión del cable de tierra (verde/amarillo) es obligatoria para evitar daños al operario. Para protección, se recomienda la utilización de fusibles de fusión retardada (Ver página 11).

5 – ESQUEMA ELECTRICO

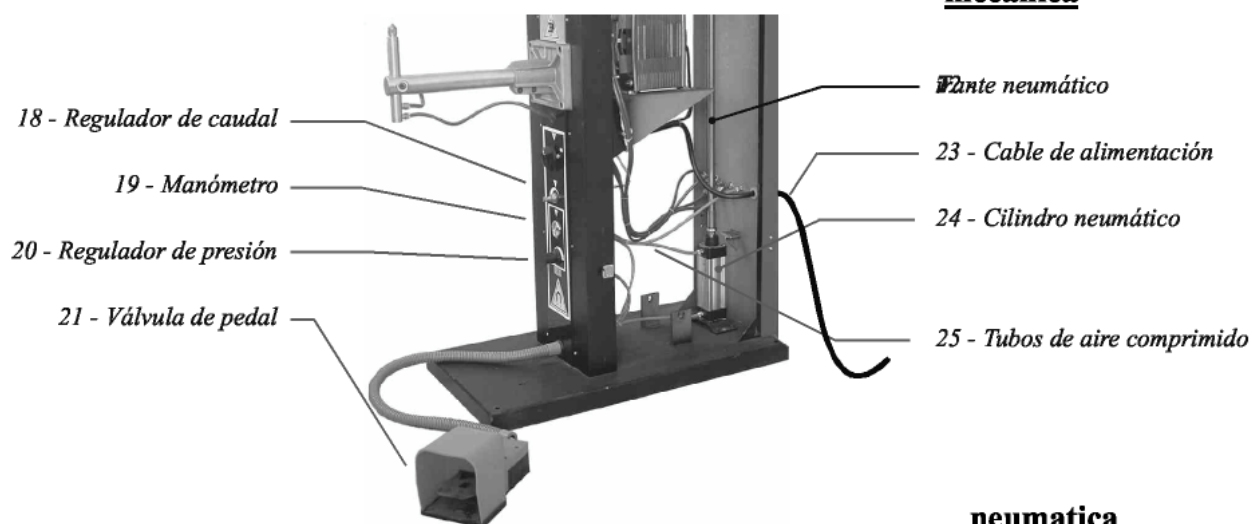


- A1 - Interruptor general
- A2 - Interruptor suelda/no suelda
- F1 - Fusible 1A
- FC - Interruptor fin de carrera (mecan.)
- PL1 - C. I. de control
- PL2 - C.I. Interconexión tiristores
- T1 - Transformador de potencia
- TH - Tiristores

LISTA DE PIEZAS



mecanica



neumatica

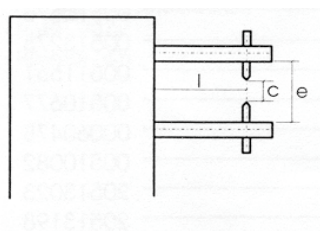
LISTA DE PIEZAS

1	Panel	
2	Circuito impreso	250242.6
3.1	Brazo standard 450 mm (*)	250243.0
3.2	Brazo de 550 mm	250237.1
4.1	Electrodo standard	249956.0
4.2	Electrodo de rótula	249307.2
4.3	Electrodo acodado	249308.3
5	Soporte de electrodo	250244.1
6	Fijación del soporte macho Fijación del soporte hembra	
7 A	Soporte de fusible Fusible 1 A	
8	Pedal mecánico	
9	Puente rectificador MPP/MPH	249954.5
10	Interruptor de fin de carrera	249955.6
11	Muelle de compresión	250021.2
12	Transformador 30 KVA (400V) Transformador 30 KVA (230V) Transformador 50 KVA (400V) Transformador 50 KVA (230V)	
13	Tubos de refrigeración	
14	Tirante mecánico Tirante neumático	
15	Muelle de recuperación	249330.4
16	Puerta derecha Puerta izquierda	250245.2 250246.3
COMPONENTES NEUMATICOS		
	Regulador de caudal	249950.1
	Manómetro	249951.2
	Regulador de presión	249952.3
	Pedal neumático	249953.4
	Interruptor de presión	
	Tubos de aire comprimido	
	Cable de alimentación	
	Cilindro neumático	

(*) Opcionalmente se dispone de brazos de longitudes hasta 800 mm (cada 50 mm)

CARACTERISTICAS

		30 mec.	30 neum.	50 mec.	50 neum.
Capacidad de soldadura	mm	4+4	4+4	5+5	5+5
	Ø mm	15+15	15+15	20+20	20+20
Tensión en vacío	V	1 - 3,4 V	1 - 3,4 V	1 - 4,0 V	1 - 4,0 V
Potencia max.	KVA	30	30	50	50
Tensión de alimentación	V(std.)	1~ 400	1~ 400	1~ 400	1~ 400
	V (opc.)	1~ 230	1~ 230	1~ 230	1~ 230
Fusibles	A (400V)	40	40	50	50
	A (230V)	63	63	80	80
Presión electrodos max.	daN	95-250	75-175	95-250	75-175
Profundidad de brazos (l)	mm (standard)	340-480	340-480	340-480	340-480
(min-max standard)	mm (max)	1000	1000	1000	1000
Distancia entre brazos (e)	mm	200	200	200	200
Diámetro de brazos	Ø mm	45	45	45	45
Diam. porta-electrodos	Ø mm	25	25	25	25
Diámetro electrodos	Ø mm	20	20	20	20
Apertura electrodos max(c)	mm	100	100	100	100
Presión de aire	bar	-	4 - 8	-	4 - 8
Caudal agua necesario	lt/min	4		5	5
Dimensiones↕→↗	cm	127x45x100	127x45x100	127x45x100	127x45x100
Peso	kg	173	170	183	180

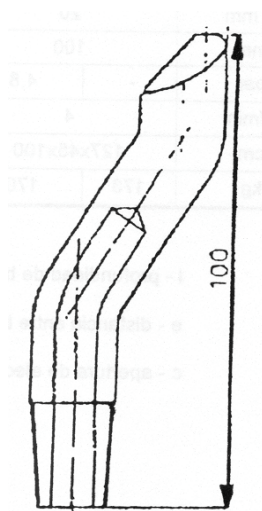


l- profundidad de brazos

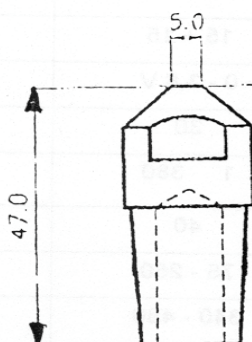
e - distancia entre brazos

c - apertura de electrodos

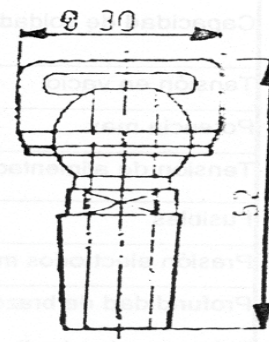
ELECTRODOS PARA MAQUINAS MPP/MPH



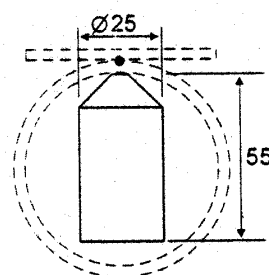
Electrodo acodado para
zonas difíciles acceso
Cod.249308.3



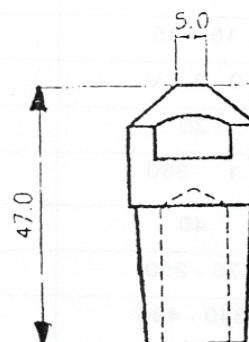
Electrodo standard
Cod.249956.0



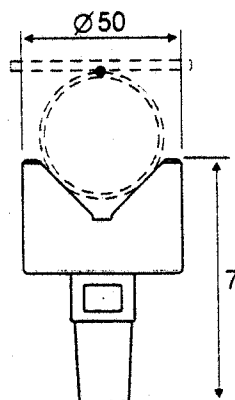
Electrodo rótula para no dejar
marca en una cara
Cod.249307.2



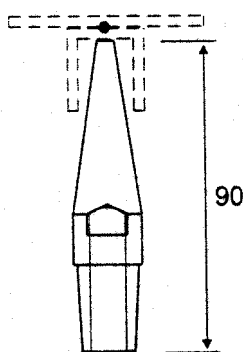
Electrodo para tubos ≥ 60 mm
Cod.250252.2
(Situat directamente sobre
brazo) Ver página 6
ATENCION : CUANDO EL
TUBO TENGA 60 M/M
UTILIZAR PARA LA FIJACION
DEL ELECTRODO EL
CASQUILLO COD.250425.0



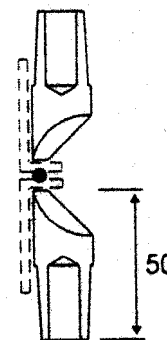
Electrodo standard de
cobre / berilio para chapa
galvanizada
Cod.250442.3



Electrodo para tubos ≤ 60 mm
Código 250249.6



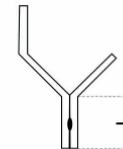
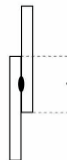
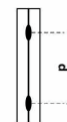
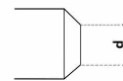
Electrodo largo para zonas
estrechas. Código 250250.0



Electrodo excéntrico
Código 250251.1

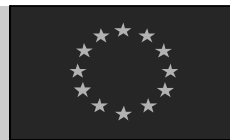
En el cuadro siguiente, se presentan algunos parámetros para el soldeo de acero al carbono, en función de 3 categorías:
 Clase A: soldaduras para grandes esfuerzos mecánicos; Clase B: soldaduras para esfuerzos mecánicos medios; Clase C: soldaduras para esfuerzos mecánicos bajos.
 Nota : Este cuadro es meramente indicativo una vez que la calidad de la soldadura por resistencias influenciada por diversos factores

Datos comunes a todas clases				Clase A (OPTIMA)				Clase B (BUENA)				Clase C (SUFICIENTE)			
e (mm)	d (mm)	P (mm)	L (mm)	Tiempo soldadura (períodos)	Corriente Soldadura (A)	Fuerza electrodos (Kg)	Diám. Punto soldado	Tiempo soldadura (períodos)	Corriente Soldadura (A)	Fuerza electrodos (Kg)	Diám. Punto soldado	Tiempo soldadura (períodos)	Corriente Soldadura (A)	Fuerza electrodos (Kg)	Diám. Punto soldado
0,25	3,0	6,5	9,5	4	Suficiente	Suficiente	3,0	15	Suficiente	Suficiente	2,8	20	Suficiente	Suficiente	2,3
0,50	4,0	9,5	11,0	5	Média	Média	4,2	20	Suficiente	Suficiente	3,5	50	Suficiente	Suficiente	2,5
0,75	4,5	12,5	11,0	6	Média	Média	4,8	25	Suficiente	Suficiente	4,3	55	Suficiente	Suficiente	2,7
1,00	5,0	19,0	12,0	8	Média	Média	5,6	30	Suficiente	Suficiente	5,3	70	Suficiente	Suficiente	3,0
1,25	6,0	22,0	14,0	10	Média	Fuerte	6,3	35	Média	Suficiente	5,6	75	Suficiente	Suficiente	3,5
1,50	6,5	25,0	16,0	12	Média	Fuerte	7,0	40	Média	Suficiente	6,4	80	Suficiente	Suficiente	4,0
2,0	7,0	35,0	18,0	17	Fuerte	Fuerte	7,6	50	Média	Média	7,0	85	Suficiente	Suficiente	5,0
2,5	8,0	40,0	19,0	21	Fuerte	Fuerte	8,6	55	Média	Média	7,9	90	Fuerte	Suficiente	6,0
3,0	9,5	50,0	22,0	25	Fuerte	Fuerte	10,2	65	Média	Média	9,4	95	Fuerte	Média	7,0
3,5	10,0	60,0	28,0	34	Fuerte	Fuerte	11,0	85	Média	Média	9,8	99	Fuerte	Média	7,8
4,0	11,0	70,0	32,0	40	Fuerte	Fuerte	11,8	95	Fuerte	Fuerte	10,7	99	Fuerte	Média	9,0
4,5	11,5	80,0	40,0	55	Fuerte	Fuerte	13,2	99	Fuerte	Fuerte	11,5	99	Fuerte	Fuerte	10,0
5,0	12,5	90,0	44,0	70	Fuerte	Fuerte	14,5	99	Fuerte	Fuerte	12,5	99	Fuerte	Fuerte	11,5



d - Diámetro de la cara activa de los electrodos
 p - Espacio mínimo entre dos puntos
 L - Sobreposición mínima

DECLARACION DE CONFORMIDAD



PRAXAIR SOLDADURA. S.L.

C/ORENSE, 11

28020 MADRID

Tlf.: 91 453 30 00

Fax.: 91 555 26 92

PRODUCTO: MAQUINAS PARA SOLDADURA POR RESISTENCIA

MODELOS: MPH-30M-DIGITAL, MPH-30N-DIGITAL y MPH-50N-DIGITAL
CÓDIGOS : 250491.3 , 250492.4 y 250493.5

Nº SERIE:

PRAXAIR SOLDADURA S.L., como empresa fabricante y distribuidora de máquinas, aparatos y artículos de soldadura y corte, DECLARA que el producto suministrado cumple con los requisitos descritos en las Directivas y Normas Comunitarias indicadas a continuación:

73/23 CE, 89336CE, 92/31 CE, 93/68 CE, EN 50199 Y EN 50063

La presente Declaración de Conformidad implica que:

El equipo es seguro

Es conforme para el uso al que está destinado

Existen controles de fabricación que garantizan el mantenimiento de la calidad del producto.

Los componentes del equipo son apropiados para el uso al que están destinados y cumplen con las correspondientes normas y directivas de aplicación.

Esta declaración no tendrá validez en el caso de cambios no autorizados, reparaciones inadecuadas o modificaciones que no hayan sido expresamente aprobadas por PRAXAIR SOLDADURA, S.L.

Fecha: JUNIO 2005



L. Valbuena Muro
Jefe de Producto